ژئومورفولوژی

زیرزمینی[1] و لزوم تهیهٔ نقشه‌های مربوطه

محمد جعفر زمردیان
عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

مقدمه:

همواره بین دانش جغرافیا و نقشه و فن نقشه برداری پیوندی عمیق و ناگسستنی وجود داشته است؛ که دلائل و شواهد بسیاری این موضوع را تائید می کند. این ارتباط که به مثابه رابطه مغز است به سر، تا بدانجا است که تا گذشته ای نه چندان دور اصطلاحات کارتوگرافی[2] و ژئوگرافی به جای یکدیگر بکار می رفت. و ژئوگراف اعمال کارتوگرافی را هم انجام می داده است. در تایید این مطلب می توان به تعریفی که از جغرافیا در کتاب بطلمیوس آمده است توجه نمود. «**جغرافیا عبارت است از معرفی کلیهٔ قسمتهای شناخته شدهٔ زمین و نمایش آن به صورت گرافیک**». همچنین با مروری بر تاریخچهٔ پیدایش و تکامل فن نقشه کشی و کارتوگرافی به این پیوند بیشتر پی می بریم. زیرا از قبل از میلاد تاکنون جغرافیدانان و دانشمندان بسیاری از جمله بطلمیوس، ادریسی، خوارزمی، ابوریحان بیرونی، مرکاتور، امانوئل دومارتن[3] و ... در پیشرفت کارتوگرافی و نقشه برداری سهم بسزایی داشته اند.

دانش ژئومورفولوژی نیز که شاخه ای از جغرافیای طبیعی است، از یک چنین ارتباط عمیق و تنگاتنگی با نقشه و نقشه برداری برخوردار بود. ضمن اینکه پیشرفت خود را تا اندازه ای مدیون مشارکت و دخالت علم نقشه برداری و نقشه برداراتی چون ژنرال دولانوئه[4] بوده است. به ویژه برای برقراری پیام گرافیکی و اثبات موجودیت تحلیل گرایانهٔ خود، پیوسته از نقشه و کارتوگرافی مدد جسته است. زیرا در مطالعات ژئومورفولوژی بالاخص در زمینهٔ کاربرد آن و به هنگام نیاز به تحلیل ابعاد هندسی ناهمواریها (مثل ارزیابی شیب، عمق، ارتفاع، مساحت، ...) بدون استفاده از نقشه (و عکسهای هوایی و ماهواره ای)، و یا انجام عملیات مساحی، نتایج مطلوب حاصل نخواهد شد.

در این زمینه گفتنی بسیار است؛ بنابراین به اصل مطلب که بخشی از ژئومورفولوژی را بررسی نموده و بر ضرورت تهیهٔ نقشه های مربوط به آن تأکید دارد، اشاره می کنیم.

گراند ژئومورفولوژی[۴] (قلمرو چهارم ژئومورفولوژی)

گراند ژئومورفولوژی، ترکیبی از دو واژهٔ «گراند» و «ژئومورفولوژی» است؛ که در آن «گراند» به مفهوم زمین است. همان گونه که برای اصطلاح لاتین Ground Water در زبان فارسی عبارت «آبهای زیر زمینی» مصطلح شده است، گراند ژئومورفولوژی را نیز می توان معادل «ژئومورفولوژی زیر زمینی» در نظر گرفت(۱۰). «در مفهوم کلی و معنای وسیع کلمه، ژئومورفولوژی زیر زمینی به مطالعه و شناسایی آن بخش از اشکال و ناهمواریهای کرهٔ زمین می پردازد که در زیر پوستهٔ زمین و در حد فاصل بین سطح زمین و بخش فوقانی قشر ماگما شکل می گیرند». و یک چنین فضای جغرافیایی است که حدود چهارمین قلمرو مطالعات و بررسیهای ژئومورفولوژیکی را ترسیم می کند[۵]. این گونه اشکال و ناهمواریهای زیر زمینی از نظر منشاء پیدایش متفاوت بوده و عوامل زیر در تکوین، گسترش و یا تحول آنها مؤثرند.

۱ـ عوامل اندوژن (نیروهای درونی)[۶]

این دسته از عوامل منشاء درونی داشته و غالباً در ایجاد اشکال ساختمانی واقع در زیر زمین مشارکت دارند. اما قادرند در سایر اشکال زیر سطحی و یا حتی ناهمواریهای سطحی پوستهٔ زمین تاثیراتی بر جای بگذارند. در این رابطه اشکال زیر بیشتر مورد توجه هستند.

الف) اشکال و پدیده های پلوتونیکی:

این گروه در واقع توده های آذرینی هستند که بر اثر سرد شدن و جایگزینی و رسوب ماگما در اعماق مختلف و زیر سطح زمین اشکال گوناگون و ویژه ای را تشکیل می دهند، که به آنها «پیکره های نفوذی»[۷] می گویند. و از نظر منشاء نیز به «پلوتون»[۸] معروفند. (پلوتو در اساطیر یونانی به معنی «خدای جهان زیرین»[۹] است). شکل پیکره های نفوذی در واقع تابعی از شکل حفرات و فضاهای خالی زیرزمینی است که خود حاصل اعمال تکتونیکی و چین خوردگی، طرز لایه بندی و اعمال انحلالی هستند(۱۹).

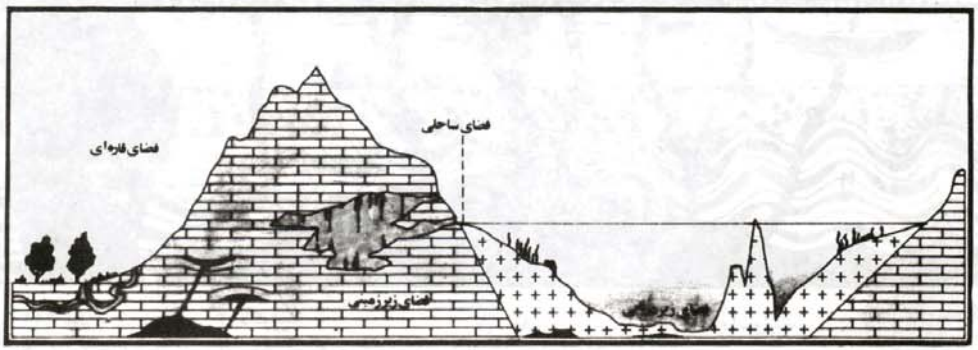
پلوتونها، ضمن اینکه منجر به ایجاد درز و شکاف در سنگهای اطراف شده و پوشش رویی خود را شکل می دهند؛ خود دارای اشکال خاصی هستند که در زیر زمین، شبکه ای گاه پیچیده و مرتبط به یکدیگر را تشکیل می دهند. به نحوی که زمانی، طرح درختی شبیه به درختان بی شاخ و برگ، و گاه مجموعه ای ظاهراً بی نظم و قاعده ای را تداعی می کنند؛ که در عین حال جزء جزء آن شکل منظم و مخصوص به خود را دارد. این پدیده های مورفولوژیکی را از نظر شکل می توان در دو گروه عمده قرار داد. (نگارهٔ شمارهٔ ۲).

ب) اشکال پلوتونیک خطی[۱۰]:

این دسته خود به دو صورت، نفوذیهای شکافی[۱۱] (مثل دایک)، و نفوذیهای بین لایه ای[۱۲] یا ورقه ای شکل (مثل سیل)، قابل تفکیک است.

پ) اشکال پلوتونیک توده ای[۱۳]:

نگارهٔ ۱



نظیر باتولیت، لاکولیت و غیره.

ت) گنبدهای نمکی:

دم های نمکی اگر چه می توانند جزیی از اشکال پلوتونیکی و تزریقی قلمداد گردند، ولی به علت ویژگیهای خاصی که دارند بهتر است در یک کاتاگوری مجزا مورد بررسی قرار گیرند. این پدیده ها مادامی که در سطح زمین ظاهر نشده اند یکی از اشکال زیر زمینی به حساب می آیند.

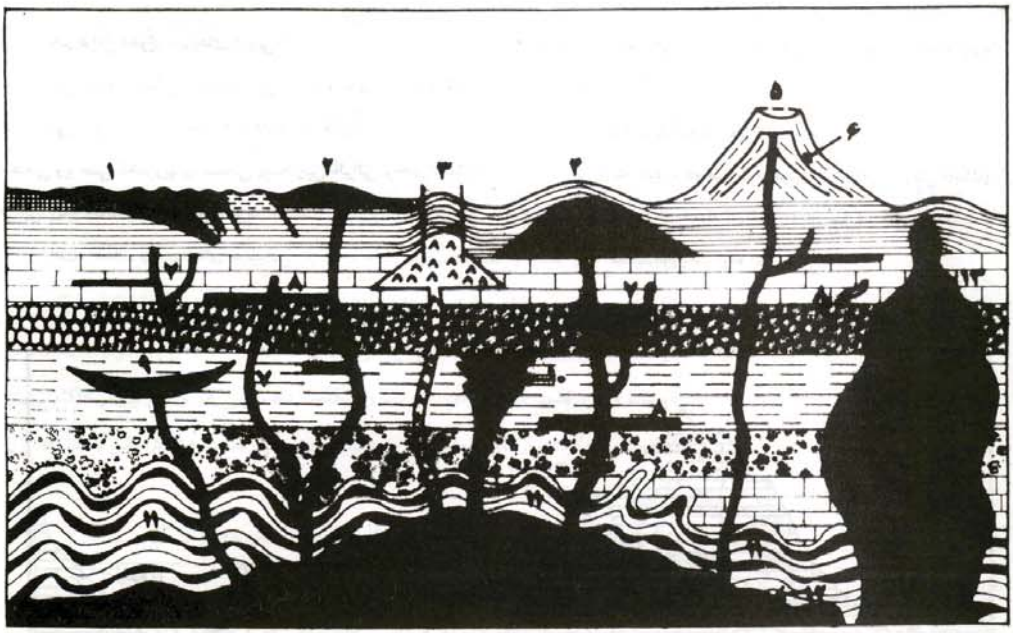
نمک از سنگهای سبک وزنی است (دارای وزن مخصوص بین ۲/۱۰ تا ۲/۱۵) که اگر بین طبقات و لایه های سنگین تر از خود مثل رس (با وزن مخصوص ۲/۵) قرار گیرد، تحت تأثیر فشارهای جانبی و طبقات فوقانی خود، در نقاط کم مقاومت صعود نموده و به صورت گنبد (دیاپیر) بالا آمده، و اغلب رسوبات فوقانی خود را شکل داده و گاهی آنها را بلند کرده و به حالت عمودی در می آورند، و به این ترتیب یکی از انواع چین که به آنها دیاپیر می گویند پدید می آید (شکل ۳). این گنبدها هر ساله یک سانتی متر بالا می آیند (یک متر در قرن)، و در بیشتر حالات این بالا آمدن حتی تا به امروز نیز ادامه دارد(۱).

ث) اشکال زیر زمینی با منشاء ولکانیکی:

این اشکال تحت تأثیر حرکات زمین ساختی، چگونگی سرد شدن گدازه در سطح زمین، و توپوگرافی واقع در زیر گدازه پدید می آیند؛ که عمده ترین آنها عبارتند از: غارهای درون گدازه ای (تونل گدازه)[۱۴]، غارهای زیر گدازه ای، و غارهای ناشی از خروج گاز.

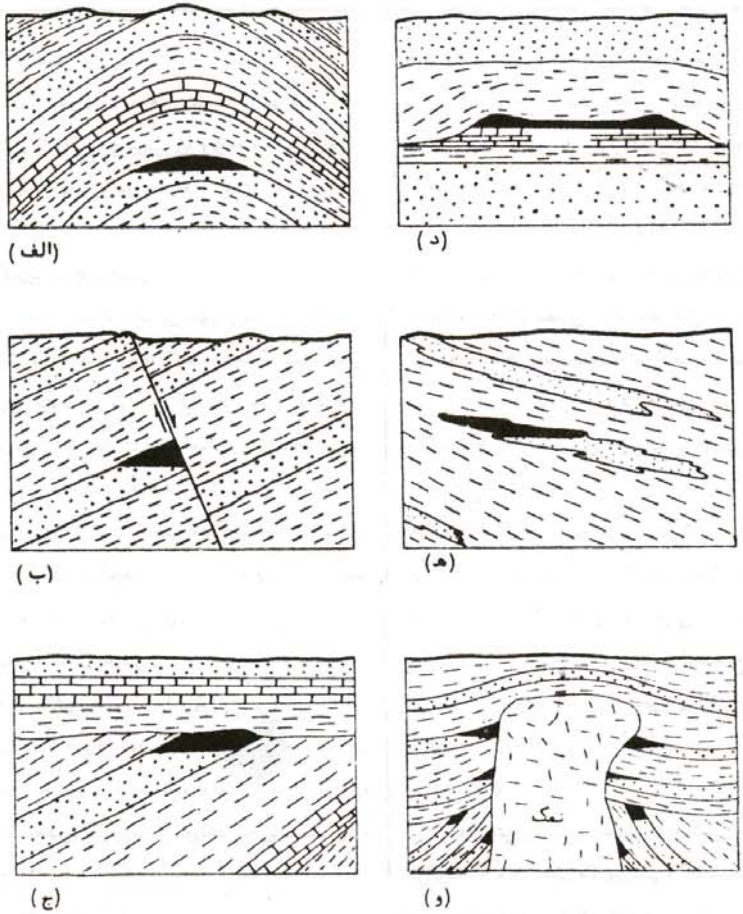
به عنوان نمونه نحوهٔ تشکیل غارهای درون گدازه ای به علت اینکه سطوح و بخشهای بیرونی یک جریان گدازه در تماس و مجاورت با هوا قرار می گیرد سریعتر خنک شده[۱۵]، و درنتیجه به شکل یک قشر یا پوستهٔ جامد در می آیند. این پوسته یک سقف یکپارچه و مقاومی را بر روی گدازهٔ مذابی که

نگارهٔ ۲ - اشکال پلوتونیکی زیرزمینی



۱) هارپولیت
۲) جریان گدازه
۳) بیسمالیت
۴) لاکولیت
۵) مخروط آتشفشانی
۶) جریانهای گذشته
۷) دایک
۸) سیل
۹) لوپولیت
۱۰) اتمولیت
۱۱) فاکولیت و آکمولیت
۱۲) باتولیت
۱۳) استوک

نگارهٔ ۳ - اشکال زیر زمینی و مدفون و تله های نفتی



انواع متداول تله های نفتی شامل = (الف) طاقدیسها، (ب) گسلها، (ج) دگرشیبی ها، (د) آداکها، (هـ) عدسیهای ماسه‌ای (sand lenses) و (و) گنبدهای نمکی می‌شود، تجمع نفت تیره نشان داده شده است.

هنوز در زیر آن جریان دارد (درست شبیه جریان آب در یک لوله)، تشکیل می دهد. هنگامی که فوران گدازه متوقف می شود، گدازهٔ مذاب موجود در زیر قشر مذکور نیز جریان یافته و از آنجا خارج می شود؛ و سرانجام یک تونل خالی بجا می گذارد(۲۱). یک چنین غاری که در جریانهای گدازه با تاوبهای مختلف تشکیل می شود، گاهی تا ۷۰ متر طول دارد (۲۰).

آن چه این غارها را از پدیده های مشابه، غارهای آهکی، گچی، نمکی و ... متمایز می سازد، این است که، اولاً این غارها معمولاً دارای دهانهٔ وسیعی (مانند عرض دهانهٔ غار ایوب در جنوب شرق یزد ۹۸ متر (۱۴))می باشد. ثانیاً این غارها معمولاً خشک بوده و آب کمی دارند. ثالثاً در درون آنها بجای استالاگمیت و استالاکتیت، اغلب بلورهای متعدد متنوع و

زیابی (مثل کوارتز)[16]، تشکیل می شود.

بعد از سرد شدن گدازه و تشکیل غارهای ولکانیکی، تنها عواملی نظیر حرکات زمین ساختی و یا فرآیندهای بیرونی (به ویژه عمل آب)، تحول و تکامل این اشکال و ناهمواریها را به عهده خواهند داشت.

۲ـ عوامل اگزوژن (نیروهای بیرونی)[17]:

این گروه از عوامل، احتمالاً بیشترین سهم را در ایجاد اشکال و ناهمواریهای درون زمین و فرآیندهای مربوطه دارند. هر چند خاستگاه اصلی این عوامل به بیرون زمین مربوط می شود؛ ولیکن عمل اصلی آنها در درون زمین انجام می گیرد. در بین این عوامل، آب و اعمال و حرکات آن مهمترین نقش را به عهده دارد؛ و به تخریب و فرسایش زیر زمینی پرداخته و منجر به ایجاد اشکال و ناهمواریهای زیر زمینی خاصی می گردد. آب در زیر زمین اعمال و فرآیندهایی تقریباً مشابه با آنچه در سطح زمین انجام می دهد، پدید می آورد، که عمدتاً به شرح زیر بیان می گردد.

الف) اعمال و فرآیندهای تخریبی:

زمانی که در زیر پوشش سطحی مواد تخریبی واقع بر سطح دامنه ها، گلاسی‌ها (دشت سرها) و نظایر آن نفوذ می‌کند، موجب تجزیه‌وتخریب سنگ زیرین به صور مختلف می‌گردد. که در واقع فرآیند خاصی بنام کریپتوآلتراسیون (تخرب مخفی)[18] را پدید می آورد. این تخریب بیشتر از نوع شیمیایی است (۵).

ب) اعمال و فرآیندهای فرسایشی:

حرکت آب در زیر زمین جریانها و رفتارهای خاصی باعملکردهای گوناگون به وجود می آورد. عمده ترین این حرکات عبارت اند از سوفوژن[19] (زهکشی عمقی همراه با حمل مواد زیر و محلول به اعماق)، جریانهای کاپیلاری یا شعریه ای[20] (زهکشی صعودی و ایجاد قشرهای رسوبی در بخشهای سطحی زمین)، آندرفلو[21] (جریانهای عمقی) و یا انفرفلو[22]، و تشکیل دریاچه ها و رودخانه های زیرزمینی. مورد آخر شاید عمده ترین جریانهای زیرزمینی باشند، زیرا از نظر وسعت، مقیاس و حتی عملکرد بی‌شباهت با رودخانه های معمولی سطح زمین نیستند (۴ و ۵). این رودخانه های زیرزمینی ضمن اینکه از تقارب و به هم پیوستن جویبارهای زیرزمینی به وجود می آیند، می‌توانند پدیده هایی نظیر دی فلو آنس[23] (دو شاخه ای شدن رودخانه ها)، اسارت، مآندر (مآندر محاظ) و نظایر آن را به خود اختصاص دهند. این جریانهای نامرئی و مخفی به طورکلی فرآیندهایی مشابه آبهای جاری سطحی دارند؛ و در اصل، قوانین و ملاحظات مربوط به جریانهای سطحی نظیر ایجاد بستر مشخص با نیمرخهای طولی و عرضی معمول، اعمال تخریبی و فرسایشی، ایجاد بار جامد و اشکال ژئومورفولوژیکی آبی و غیره در مورد آنها صدق می‌کند.

در فرسایش زیرزمینی مودا معدنی معمولاً به صورت محلول و همراه با مقداری مواد کلوئیدی از دسترس خارج می‌شود. می‌توان گفت بیش از ٪۵۰ موادی که به وسیلهٔ رودخانه ها به اقیانوسها منتقل می‌شوند به صورت محلول بوده، که نتیجهٔ انحلال و فرسایش و زیرزمینی است؛ و از این طریق، آب نافذ در خاک سالانه بیش از ۱۹۳ تن در کیلومترمربع مواد از دسترس خارج می‌سازد. این عمل ضمن این که منجر به پیدایش حفره ها فضاهای خالی و ناهمواریهای زیرزمینی می‌گردد، موجب نشست کلی بعضی از اراضی می‌گردد (۱۶).

فرسایش زیرزمینی عمدتاً در بخشی از زیر پوستهٔ زمین صورت می‌گیرد، که به آن «عمق هیدرولوژیکی»[24] یا قدرت نگاهداری و حمل آب گویند. لازم به ذکر است که دامنهٔ حرکت آب زیرزمینی در سنگ کوه، از سطح زمین تا عمق متوسط ۸۰۰ متری در تغییر است.

پ) اعمال‌وفرآیندهای رسوبگذاری:

جریانهای زیرزمینی علاوه بر اعمال تخریب (انحلال و فرسایش) و حمل به عمل نهشتگی وته نشینی نیز می‌پردازند. نهشته های زیرزمینی به صور مختلف تشکیل می‌شوند. که عمده ترین آن بالاخص در مناطق کارستی (غارهای آهکی) عبارت اند از: بلورها و نهشته های عمودی و ستونی (مثل

استالاکتیت، استالاگمیت، ستونهای آهکی، بلورهای سوزنی، ماکارونی و ...)، نهشته‌های غده ای و مدوّر (مانند آهکهای گل کلمی، آهکهای نخودی و اشکالی بنام مرواریدوقرص غار ...)ونهشته های سفره ای (به صورت طبقات و لایه های نازک یا ضخیم آهکی).

ت) اشکال و پدیده های حاصل از دخالت عوامل بیرونی:

عوامل و فرآیندهایی که تاکنون ذکر گردید منجر به پیدایش اشکال و ناهمواریهای زیرزمینی خاصی می‌گردند، که بعضی از آنها بی‌شباهت به ناهمواریهای سطح زمین نیستند، عمده ترین اشکال و ناهمواریهای زیرزمینی اکژوژن، اشکال زیرزمینی کارستی هستند. که در سنگهایی نظیر آهک، دولومیت، سنگ نمک، یخ، ژیپس، گچ، و به طور جزئی مارن، که قابلیت انحلال خوبی دارند به وجود می‌آید. و مهمترین آنها عبارت اند از: آون، پونور، غار، پدیده های درون غاری (دهلیزها و دالانها، تالارها و سالن های متنوع، دره ها[25] با پرتگاهها و دیواره های پرشیب، چاههای ژرف و عمیق[26]، آبشارها، دیگ غول، ...) و دیگر پدیده های کاوشی و ته نشین سازی.

۳) عوامل بیوژن (نیروهای زیستی)[27]

در زیرزمین مجموعه ای از عناصر زیستی (غیر از انسان) در فضاهای خاص و مربوط به خود، تقریباً یک «اکوسیستم درونی» را تشکیل می‌دهند. و در قالب آن فعل‌وانفعالاتی صورت می‌گیرد، که بی‌شباهت به عملکرد اکوسیستم بیرونی نخواهد بود. در یک چنین سیستمی‌ودر ارتباط با آن، اشکال و ناهمواریهای خاصی پدید می‌آید، که بیشتر به مناطق استپی اختصاص دارد.

وفور گرامینه ها در استپها به رشد و افزایش حیوانات حفار (جوندگان، خزندگان و حتی پرندگان) کمک می‌کند. این حیوانات با توجه به شرایط محیطی (گرمای تابستانه سرمای زمستانه، فقدان گیاهان درختی و حفظ جان در برابر تهدیدات گوناگون) مجبورند در خاک آشیانه بسازند؛ و در آنجا از دانه، پیازها و ساقه های زیرزمینی تغذیه کنند؛ و به علت وفور گرامینه ها سریع رشد نموده، و به تولید مثل می‌پردازند. نتیجه یک چنین فعل و انفعالاتی حفر گسترده و جابجایی توده های عظیم خاک توسط این حیوانات است که خود منجر به پیدایش سوراخها، حفرات، دالانهای زیرزمینی و گالریهای بیشمار و فراوانی می‌شود.

آب و باد نیز این حفرات و معابر زیرزمینی را وسعت بیشتری می‌دهند، به نحوی که مقادیر زیادی از خاک لانه ها طعمهٔ باد می‌شود، و در نتیجه نفوذ آب باران در دالانها سهل تر شده و به این ترتیب جریانهای سطحی کاهش یافته و جریانهای زیرزمینی به کاوش می‌پردازند (۵).

بنابراین مناطق استپی اکثراً دارای فضاهای خالی و سوراخهای زیرزمینی گوناگون و بسیار هستند؛ که موجب ناپایدار شدن بخش سطحی می‌گردند؛ به گونه ای که به هنگام طی طریق با اسب، خودرو و یا وسایل سنگین، سقف انواع و اقسام دالانها و حفره های زیرزمینی فرو می‌ریزد (۵). لذا توجه به این موضوع در برنامه ریزیها حائز اهمیت فراوان است.

۴) عوامل پالئوژن (فرآیندهای تاریخی و دیرینه)[28]

گذشت زمان در مقیاس زمین شناسی همراه با عوامل فرسایشی به نوعی در ایجاد اشکال زیرزمینی دخالت دارند، که خود بخشی از پالئوژئومورفولوژی را تشکیل می‌دهد. در این رابطه می‌توان به اشکال و توپوگرافی‌های مدفون[29] اشاره نمود. «توپوگرافی مدفون آن دسته از اشکال فرسایشی و یا تراکمی (دارای منشاء رسوبگذاری) را در بر می‌گیرد که در زیر بعضی از انواع توده های پوششی، دریاها، دریاچه ها، و یا رسوبات زمینی دفن شده و کاملاً دست نخورده باقی مانده اند. این توپوگرافی در واقع به عنوان سطوح نامرئی و یا سطوح مرده شناخته می‌شوند. زیرا تحوّلات مورفولوژیکی آنها بسیار نامحسوس است (۶). انواع عمدهٔ توپوگرافی مدفون عبارت اند از:

الف) کانالها یا مجاری مدفون: عبارت اند از دره ها و مجاری رودخانه ای که در گذشته فعال بوده و بعدها توسط مواد پوششی دفن گردیده اند. این ناهمواریها از نظر نوع درّه و مواد پوشانندهٔ آنها، به انواع مختلفی طبقه بندی می‌شوند از جمله: درّه های مدفون آتشفشانی، کانیونهای (دره های کارستی) مدفون، و درّه های مدفون یخچالی.

ب) سطوح فرسایشی قدیمی: این سطوح عمدتاً عبارت اند از ناپیوستگیها یا دگرشیبها.

پ) تپه ها و ماسه های مدفون: این گروه در دو طبقهٔ کلی قرار می‌گیرند یکی ماسه های ورقه ای که به صورت صفحات کاملاً گسترده و نازک هستند. و دیگری پیکره های ماسه ای خطی (طولی) و عدسی‌شکل.

ت) یخهای مرده و مدفون[۳۰] یا یخهای زیرزمینی[۳۱]: عبارت اند از یخهایی که توسط خاک و یا مواد پوششی مشابه پوشیده شده اند. تمام یخها با هر منشأ یا سنی، که در زیر سطح زمین بویژه به شکل یک عدسی، صفحه گُوه، رگه، و یا تودهٔ بی‌نظم و قاعده، مدفون شده‌اند، در این گروه قرار می‌گیرند. عمده ترین آنها عبارتند از یخبندان زیر زمینی[۳۲] یا پرمافراست، یخ فسیل[۳۳]، یخ زیرسطحی[۳۴]، یخ زیرخاکی[۳۵]، یخ زیرزمینی[۳۶]، لایه های یخی زیرزمینی[۳۷]، تپه های یخی زیرزمینی[۳۸]، لاکولیت یخی[۳۹]، دیگچالها[۴۰]، مورنهای زیرزمینی[۴۱].

گلی (چندضلعیهای گلی) درمناطق کویری، و یا اشکال حاصل از فعالیت موریانه های زیرزمینی، جریانهای گدازهٔ مدفون در زیر رسوبات، موجودات و جنگلهای مدفون.

۵) عوامل تکنوژن (کنش و نیروی انسانی)[۴۲]

انسان از چندین هزار سال پیش به عنوان یک عامل ژئومورفیکی مهم، با ذخیره و تمرکز بسیار زیاد انرژی مورد نیاز خود از طریق خورشید، تأثیر غیر عادی در تغییر مناظر ناهمواری بر جای می‌گذارد. مثلاً هنگامی که نور خورشید توسط عمل فتوسنتز در گیاهان تثبیت می‌شود، با گذشت زمان به سوختهای فسیلی تبدیل شده که می‌تواند وسیله ای برای به حرکت در آوردن موتورها وماشین آلات و در نتیجه تغییر چهرهٔ ناهمواریها باشد (۳).

انسان همانگونه که در ایجاد، تشدید یا تخفیف فرآیندهای ژئومورفولوژیکی و ناهمواریهای سطح زمین به نوعی اثر می‌گذارد، به همان نحو در ایجاد و خلق اشکال و فضاهای زیرزمینی، تشدید و یا تضعیف فرآیندهای زیرزمینی نیز سهم قابل توجهی دارد. عمده ترین فعالیتها و اثرات انسان در زیرزمین و توپوگرافی زیرزمین عبارت اند از:

الف) بهره برداری از معادن ـ حفر معادن مختلف از جمله معادن نمک منجر به ایجاد ناهمواریها و فضاهای زیر زمینی خاصی می شود. بعضی از این معادن در واقع یک شهر زیر زمینی هستند که دارای کوچه ها، تالارها و میادین زیادی می باشند، مثل معدن نمک ویلیسزکا(۱۱).

ب) طرحهای تونل سازی و فضاهای زیر زمینی طولی ـ تونلهایی که عمدتاً برای امر انتقال احداث می شوند، مثل تونلهای راه آهن، تونلهای ارتباطی راهها، تونلهای زیر دریایی (تونل زیر دریایی سیکان[۴۳] در ژاپن)، متروهای زیر زمینی، تونلهای تأمین آب یا انتقال فاضل آب، حفر قنوات[۴۴] و نظایر آن از این رده هستند.

پ) فضاهای زیر زمینی ـ طی چند دههٔ اخیر توجه زیادی به ایجاد فضاهای زیر زمینی ایجاد شده است. علت این توجه و علاقمندی عمدتاً به لحاظ امنیت، استحکام، و صرفه جویی در فضای روی زمین، آسیب ناپذیری نسبت به عوامل جوّی نظیر تغییرات درجه حرارت و غیره می باشد. ایجاد و طرح این گونه فضاها در درجهٔ اول برای جا دادن و تأسیس نیروگاهها، تأمین مخازن زیر زمینی و انبارهای بزرگ، تعبیه کارخانجات و مراکز تولیدی امن، و بالاخره تأمین فضاهای مناسب عمومی مثل ورزشگاهها، تالارها، و غیره می باشد(۱۸).

به طور کلی یک رابطهٔ متقابل بین این فضاهای زیر زمینی مصنوعی و

ژئومورفولوژی زیر زمینی، و فرآیندهای مربوطه وجود دارد. زیرا برای حفر این فضاها از یک سو نیاز به شناخت و مطالعهٔ ژئومورفولوژی سطحی و زیر زمینی ناحیهٔ مورد نظر است؛ و از سوی دیگر این فضاها خود ممکن است بر آنها اثر بگذارد.

تحول و تکامل ناهمواریهای زیر زمینی

اشکال و فرآیندهای زیر زمینی عموماً از نظر نحوهٔ تکوین و تحول (تکامل) سرنوشت تقریباً مشابهی با فرآیندهای ژئومورفیک سطحی دارند، و لیکن به طور متوسط سرعت تحوّلات و تغییرات آنها کندتر از ناهمواریهای سطحی است. این ناهمواریها همچنین می توانند در طول عمر خود دارای مراحل جوانی، بلوغ و پیری باشند، هر چند حوادث و رویدادهایی نظیر زلزله، فعالیتهای ماگمایی و فعال شدن گسلها ممکنست به دوباره جوان شدن[۴۵] آنها کمک کند و به تبع آن فرآیندهای ژئومورفیک را شدیدتر یا خفیف تر نماید. ناهمواریهای زیر زمینی گرچه به نوعی با سطح زمین ارتباط دارند، و لیکن در مراحل نهایی تکوین و تحوّل خود رخنمون یافته و سرانجام با ناهمواریهای سطح زمین پیوند می خورند. مانند فرو ریختن سقف غارهای آهکی و ایجاد کانیونها و... از اینرو شناخت مراحل تکوین و تحوّل ناهمواریهای زیر زمینی در راستای برنامه ریزیها بسیار مفید خواهد بود (شکل ۴).

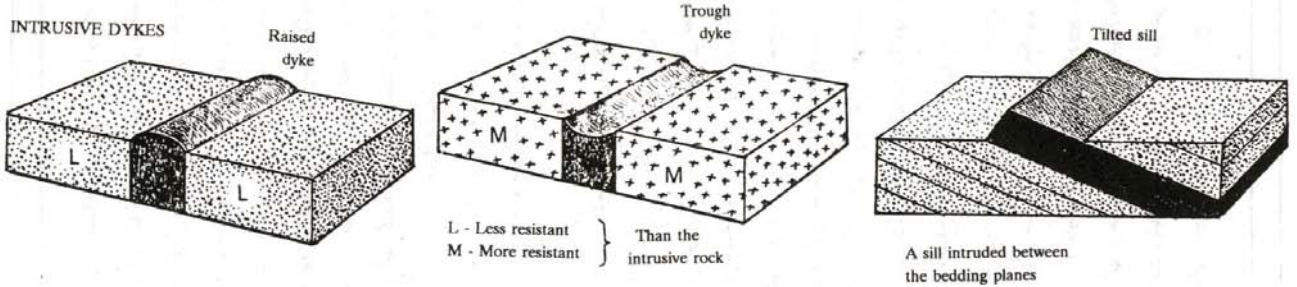
جنبه های کاربردی ژئومورفولوژی زیر زمینی

مطالعه و بررسی اشکال و ناهمواریهای زیرین حداقل در چهار زمینه خاصّ کاربرد دارد:

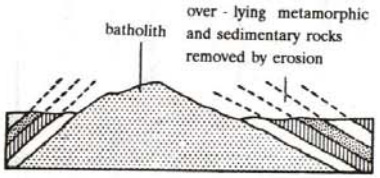
۱) در زمینهٔ اقتصادی. شناخت این پدیده ها در پیگیری منابع و رگه های معدنی بالاخص از نظر نفت، گاز، منابع آب، کانیهای اقتصادی و فلزات قیمتی اهمیّت زیادی خواهد داشت. به عنوان مثال اشکال پلوتونیک از نظر کانیهایی مثل آهن، نیکل، کرم، الماس و...، گنبدهای نمکی از نظر تله های نفتی، دره های مدفون از نظر پلاسر و کانسارهای طلا و ذخائر آب... مناسبترین محلها را در بر دارند. مسلماً ارزیابی و برآورد ابعاد، وسعت، حجم ... این منابع از طریق بکارگیری نقشه های زمین شناسی، نقشه های ژئومورفولوژیکی، عکسهای هوایی و ماهواره ای امکان پذیر خواهد بود.

۲) در زمینهٔ پروژه های عمرانی. به هنگام برنامه ریزی برای پروژه های عمرانی نظیر راه سازی، سد سازی، احداث بناها و تأسیسات مسکونی و اقتصادی، سکونتگاهها و غیره مطالعه ناهمواریهای زیر زمینی و ویژگیهای آنها اهمیّت زیادی خواهد داشت. مثلاً نشست زمینهای انحلالی و فرو ریزی سقف غارهای آهکی، بالا آمدن گنبدهای نمکی و نشست زمینهای استپی و نظایر آن، می تواند اثرات سوئی به همراه داشته باشد؛ و مشکلات عدیده ای را در زندگی انسان و فعالیّتهای وی به بار آورد. در این زمینه نیز استفاده از نقشه و عکس بالاخص نقشه های ژئومورفولوژیکی فواید زیادی به همراه خواهد داشت.

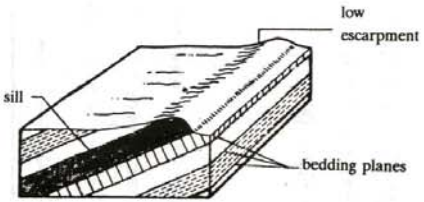
۳) در زمینهٔ تصرّفات فضایی. اشغال فضاهای زیرزمینی طبیعی و یا مصنوعی، از نظر امنیتی، حفاظتی، اقتصادی، آلودگی زدایی و... مسائل و مشکلات زیادی را حلّ خواهد کرد. مثلاً با استفاده از این فضاهای زیر زمینی می توان انبارها، کارخانجات و... را از روی زمین به زیرزمین منتقل کرد؛ و از این طریق آلودگیها را به زیر زمین هدایت کرد. و در سطح زمین فضای مسکونی مناسبتری را فراهم آورد. در بین اشکال و فضاهای زیر زمینی، غارها (بالاخص غارهای آهکی و آتشفشانی) از این نظر دارای اهمیت بیشتری هستند. غارها اغلب در امور نظامی، امنیتی، ایجاد پناهگاهها، برقراری محل امن برای کارخانجات و صنایع (به ویژه صنایع نظامی)، حمل و نقل زیر زمینی و نظایر آن می توانند کاربرد زیادی داشته باشند. به خصوص در امور نظامی شناسایی آنها از خارج حتی به وسیلهٔ هواپیما و یا عکسهای هوایی بسیار مشکل و دشوار است. و مقاومت آنها در مقابل بمبارانها و زمین لرزه ها و سیل بسیار است. چرا که آنها در طول مدت هزاران و حتی میلیونها سال[۴۶] در برابر حوادث طبیعی استقامت و پایداری کرده اند (۱۴). به طور کلی بشر در هر زمان، چه به هنگام جنگها، و چه در طول زمانهای پیش از تاریخ و در مدت



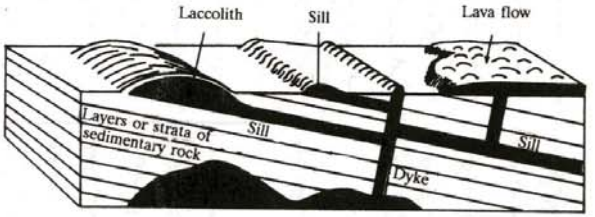
Intrusive rocks exposed by denudation.

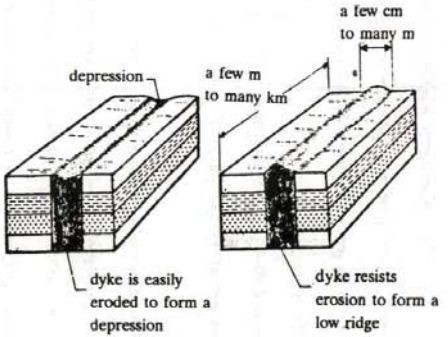


A batbolith is sometimes exposed by weathering and erosion.



An escarpment formed by a sill,the dimensions of which are similar to those of a dyke.





Two dykes - one forming a ridge and the other a depression.

یخبندانهای کرهٔ زمین پناهگاه خود را در غارها می جسته است (۴).

از اینرو شناسایی و بررسی دقیق غارها و ویژگیهای آن از نظر ضخامت و جنس، وضع قرارگیری لایه ها، سن غارها و مراحل تکاملی کارست (جوانی، بلوغ و پیری)، ابعاد هندسی (مثل وسعت، عمق، ارتفاع، طول) و ... بسیار ضروری و حیاتی است.

۴) بررسی ژئومورفولوژی زیر زمینی در زمینه های دیگری نظیر امور توریستی و ورزشی، صنعت فیلم سازی، باستانشناسی، جنبه های علمی و پژوهشی و غیره نیز مانعی را به دنبال خواهد داشت.

راهی که در پیش داریم

به راستی می توان به وجود یک دنیای زیر زمینی شگفت انگیز که در زیر پاهای ما قرار دارد اعتراف نمود. اما هنوز ابعاد و ویژگیهای این جهان زیر زمینی و اثرات آن در زندگی انسان کاملاً شناسایی و ارزیابی نشده است. ما هنوز نمی دانیم مجموعهٔ این فضاهای زیر زمینی چقدر است؟ آیا تمامی آنها به اندازهٔ یک قارّه یا خرده قارّه خواهد بود؟ آیا این قلمرو چهارم ژئومورفولوژی فضاهای جغرافیایی جدیدی را برای حل بعضی مشکلات مثل کمبود جا فراهم می آورد، و یا اینکه مشکلات را فزونی می بخشد؟ اثرات این همه فضای زیر زمینی بر فرآیندهای ژئومورفولوژیکی سطح زمین چگونه خواهد بود و چه مشکلات و یا تسهیلاتی را برای انسان و فعالیتهای او موجود می آورد؟ و

برای پاسخ به این سئوالات ما هنوز راه درازی در پیش داریم، لذا پیشنهاد می شود این امر جدی تلقی شده و ارزیابیها و بررسیهای دقیقی در هر یک از موارد فوق الذکر یا زمینه های مشابه به عمل آید. برای مطالعه و بررسی ژئومورفولوژی زیر زمینی باید تمام روشها و وسایلی که برای مطالعات و ژئومورفولوژی سطحی به کار می رود. و حتی وسایل و ابزار و تکنیکهای پیشرفته تر را به کار گرفته، و از تجربیات به دست آمده در مطالعات ژئومورفولوژی بهرهٔ فراوان بگیریم.

به منظور تحقّق بخشیدن به این اهداف یکی از اقدامات مهم و ضروری تهیهٔ نقشه های زیر زمینی و ایجاد پیام گرافیکی اشکال و ناهمواریهای زیر زمینی است. در این رهگذر ضمن اینکه از عکسهای هوایی، ماهواره ای و انواع نقشه بهره می گیریم؛ باید تلاش کنیم نقشه های جدیدی از پدیده های زیر زمین تهیه کنیم. از طریق تهیهٔ نقشه های جدید نیل به اهداف زیر میسّر خواهد شد.

- شناخت و معرفی دقیقتر اشکال و ناهمواریهای زیر زمینی و نمایش پراکندگی آنها به شیوهٔ بصری.
- با توجه به صرفه جویی در وقت، نقشه و گرافیک این پدیده ها وسیلهٔ خوبی برای انتقال اطلاعات و فراگیری سریعتر و آسانتر مطالب آنها است.
- این نقشه ها در پیشبرد مطالعاتی که به پی جویی مسائل ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی، اکتشافات، و جنبه های کاربردی می انجامد، نقش حسّاس و غیر قابل انکاری دارند.

برای تهیهٔ این نقشه ها ابتدا لازم است ایدهٔ کلّی را به دست آورده، سپس به مطالعهٔ تفصیلی موضوع و جزییات پرداخته، آنگاه نقشه ستر صحیح و دقیقی را به دست داد. در انتخاب روش نیز باید بتوانیم اطلاعات موجود را هوشمندانه و با دقت نظر کامل بررسی و در عمل بهترین روش معرفی گرافیکی را انتخاب کنیم. همچنین به خوبی احساس می شود که انتخاب روش معرفی، بر حسب موضوع و هدف فرق می کند، بنابراین تشخیص و انتخاب روش معرفی بر حسب نوع پدیده خود موضوعی است در کمال اهمیت (۷). در این رابطه با توجه به نوع پدیده های زیر زمینی می توان اقدام به تهیهٔ نقشه های تماتیک (موضوعی) به شرح زیر نمود:

۱) تهیهٔ نقشه های گراند ژئومورفولوژیکی: این نقشه ها به پدیده ها و ناهمواریهایی که در فضاهای زیر زمینی واقعند، به ویژه توپوگرافی غارهای کارستی، غارهای آذرین، غارهای یخی، ... و پدیده های درونی آنها و نیز فضاهای مصنوع اختصاص دارد: برای این منظور می توان دو نوع نقشه تهیه کرد:

الف) تهیه نقشه های سطحی، که وضعیت قسمتهای رویی و فوقانی

این پدیده ها را نشان می دهد.به عنوان مثال در نواحی کارستی تهیهٔ نقشه های ژئومورفولوژیکی که بتواند نقوش جریانی، حفره های مکش[۴۷] پونورها، و چشمه ها را دقیقاً نشان بدهد امری ضروری است. در این رابطه لازم است تعداد و محل دقیق تمام حفره های مکش و چشمه ها، مساحت برونزد کارست، وضعیت زهکشی، هیدرومتری و مورفومتری جریانها و پارامترهای دیگر دقیقاً ارزیابی و نقشه برداری شود. وجود یک چنین نقشه هایی کاربرد زیادی می تواند داشته باشد، مثلاً با استفاده از این نقشه ها می توان پارامترهایی نظیر «تراکم حفره های مکش»، «تراکم چشمه ها»، «نسبت حفره به چشمه»، «تراکم زهکشی درکارست» و... را بررسی و تعیین کرد؛ و از این رهگذر به چگونگی گسترش شبکه های انحلالی زیر زمینی پی برد[۴۸].

تهیهٔ یک چنین نقشه هایی چندان مشکل نبوده و با استفاده از عکسهای هوایی و ماهواره ای و یا عملیات نقشه برداری زمینی به راحتی امکان پذیر خواهد بود.

ب) تهیهٔ نقشه های عمقی، که وضعیت زیرین را از نظر گسترش فضاها، ناهمواریها و پدیده های مورفولوژیکی نشان می دهد. مسلماً تهیه این نوع نقشه ها نسبت به نوع قبلی خالی از اشکال نبوده و با مسائل و مشکلات و احتمالاً نارساییهایی همراه خواهد بود. برای تهیهٔ این نقشه ها می توان به طور مستقیم (حضور بر روی زمین و انجام عملیات غار پیمایی) و غیر مستقیم عمل نمود و لیکن در مجموع روشهای زیر قابل بررسی و تجربه خواهند بود:

- مساحی و نقشه برداری زمینی؛
- فتوگرامتری؛
- استفاده از عکسهای حرارتی (در صورت امکان)؛
- استفاده از روشهای گراویمتری (ثقل سنجی)؛
- بکار گیری روشهایی نظیر اکوساندر، سرعت امواج زمین لرزه؛
- انجام عملیات آزمایشگاهی و غیره.

برخی پارامترهایی که در این رابطه بایستی ارزیابی شوند و به نقشه در آیند عبارت اند از:

- تعیین میزان نفوذ پذیری، با استفاده از دستگاهها و روشهای مختلف از جمله نفوذ سنجها و با روش رنگین کردن آب و امثال آن، در این صورت می توان تخلخل و نفوذ پذیری[۴۹] مناطق کارستی را مورد سنجش قرار داد و از این طریق «نقشه های هم نفوذ» را تهیه کرد.
- مورفومتری و اندازه گیری ابعاد هندسی، در این رهگذر پارامترهایی نظیر ارتفاع، عمق، طول، وسعت، شیب و... که مربوط به توپوگرافی اشکال زیر زمینی است نقشه برداری می شوند، و به همراه پدیده های مورفولوژیکی به روی نقشه منعکس می شوند.
- تعیین دیگر شرایط فیزیکی فضاهای زیر زمینی مثل اندازه گیری میزان رطوبت و نم موجود در هوای زیرین، درجه حرارت، فشار... و ارائه آنها در قالب نقشه های فشار، نقشه های دما، رطوبت و غیره.
- نقشه برداری و بررسی مکانهای زیستی از نظر جغرافیای زیستی (تعیین نوع و پراکندگی حیوانات غارزی و گیاهان احتمالی).

۲) تهیهٔ نقشه های ژئولوژیکی، این نوع نقشه ها را لازم است برای نمایش اشکال و پدیدههای نفوذی، گنبدهای نمکی، دگر شیبها، اشکال و ناهمواریهای مدفون و... تهیه کرد. برای تهیهٔ یک چنین نقشه هایی می توان از نقشه های مبنا (توپوگرافی)، عکس های هوایی و ماهواره ای بهرهٔ زیادی برد، ولیکن حضور بر روی زمین و استفاده از مشاهدات صحرایی و اندازه گیریهای صحرایی بخش قابل توجهی از مراحل تهیهٔ این گونه نقشه ها را در بر می گیرد.

در این رابطه به مشاهدهٔ رخنمونها، رسوبات سطحی، تعیین امتداد و شیب ساختمانهای صفحه ای، جهت وپلانژ ساختمانهای خطی، اندازه گیری واقعی ضخامت لایه ها، تعیین محل و موقعیت این پدیده ها و ... می پردازیم.

به عنوان مثال برای شناسایی دقیق توده ها و اشکال آذرین نفوذی باید آنها را به طور تفصیلی، متر به متر، تعقیب کرد، و برای این منظور حداقل باید رخنمونهای کافی وجود داشته باشد. در عین حال وضعیت نفوذیهایی مانند دایک و سیل به طور نسبی قابل پیشگویی است؛ و شکل آنها عمدتاً به وسیلهٔ درزها و سطوح لایه بندی که از پیش در سنگها بوده است کنترل می شود. از آنجایی که دایکها دارای وضعیت توپوگرافی ویژهٔ خود هستند، غالباً می توان مسیر آنها را به بهترین وجهی بر روی عکسهای هوایی دنبال کرد. اما ارزیابی سیلها می تواند مشکلاتی به همراه داشته باشد، زیرا گاهی اوقات تشخیص آنها از گدازه ها به سادگی امکان پذیر نیست(۲).

هنگامی که ازکنتاکتهای نفوذی نقشه تهیه می کنیم، مهم این است که وضعیت کنتاکت را از نظر شیب، امتداد ضخامت واقعی ونظایر آن را درهر

جایی که ممکن است اندازه گیری نماییم(۲). به طور کلی ابزار و تکنیکهای مورد نیاز برای تهیهٔ نقشه های ژئولوژیکی تقریباً همانهایی هستند که برای تهیهٔ نقشه های گراندژئومورفولوژی اشاره شدند، مانند روش گراویمتری، سرعت عبور امواج زلزله و ...

۳) نقشه های هیدروژئولوژیکی، تهیهٔ این نقشه ها اگر چه در قلمرو مطالعات هیدرولوژیکی است و لیکن از آنجایی که ارتباط نزدیکی بین هیدرولوژی و ژئومورفولوژی وجود دارد و در واقع ایجاد برخی فرآیندها و پدیده های ژئومورفولوژیکی (سطحی و زیرزمینی) توسط آب انجام می شود و از سویی با مطالعات ژئومورفولوژیکی می توان به منابع آب پی برد، در اینجا مورد توجه قرار می گیرند.

با استفاده از نقشه های توپوگرافی، نقشه های ژئومورفولوژیکی، نقشه های ژئولوژیکی، عکسهای هوایی و ماهواره ای، و بکارگیری روشهای سوندار و حفر چاههای گمانه ای و پیزومتری و دیگر تکنیکهای رایج در این زمینه می توان به بررسی و تهیهٔ نقشه های جدید از وضعیت و ویژگیهای آبهای زیر زمینی و آکیفرها (مثل عمق سفره، حجم و ضخامت لایه آبدار، جهت جریان زیر زمینی، شبکه هیدروگرافی و تراکم زهکشی زیر زمینی و ...) پرداخت، نقشه های هم عمق و پیزومتری یک نمونه از این نقشه ها به حساب می آیند.

منابع

۱)اسدیان، خدیجه، شناخت زمین ـ انتشارات جهاد دانشگاهی، چاپ اول، فروردین ۱۳۶۸.

۲) اف. احمد ـ دی سی. آلموئد ـ روش تهیهٔ نقشه های زمین شناسی برای دانشجویان ترجمهٔ موسوی حرمی ر. انتشارات آستان قدس ۱۳۶۸.

۳) اونق، مجید، جریان انرژی در سیستمهای ژئومورفیک، مجله رشد آموزش جغرافیا، سال ششم، شماره ۲۱، بهار ۶۹.

۴) بلرپ، پومرول ش، مبانی زمین شناسی ـ ترجمه پور معتمد ف، درویش زاده ع. معتمد ا.، انتشارات دانشگاه تهران چاپ دوم، آبانماه ۱۳۶۴.

۵) تریکار، ژ، مبانی ژئومورفولوژی (جلد چهارم: اشکال ناهمواری در نواحی خشک) ترجمه صدیقی م. پور کرمانی م. انتشارات معاونت فرهنگی آستان قدس ۱۳۶۹

۶) تورن بری، پالئوژئومورفولوژی ـ ترجمه محمد جعفر زمردیان، رشد آموزش جغرافیا، شماره ۱۵، پاییز ۱۳۶۷ و شماره ۱۷، بهار ۱۳۶۸.

۷) خرسند، زیبا، کاربرد نقشه و نمودار در مسائل جغرافیایی ـ مجله دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه مشهد، شماره ۳، سال یازدهم.

۸) درویش زاده، علی، اصول آتشفشان شناسی ـ انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم ۱۳۶۵.

۹) دریو، ماکس، مبانی ژئومورفولوژی ـ ترجمه خیّام، مقصود، انتشارات دانشگاه تبریز ۱۳۵۲.

۱۰)زمرّدیان، محمد جعفر، گراند ژئومورفولوژی، قلمرو چهارم ژئومورفولوژی و برخی جنبه های کاربردی آن ـ هفتمین کنگرهٔ جغرافیایی ایران، دانشکدهٔ ادبیات دانشگاه تهران، ۱۹ تا ۲۱ اسفند ۱۳۶۹.

۱۱) شاسکولسکایا، بلورها ـ ترجمهٔ قریب، عبدالکریم، انتشارات سازمان تربیت معلم و تحقیقات تربیتی ۱۳۴۵.

۱۲) صدوق ونینی، حسن، ژئومورفولوژی دانشی از علوم زمین ـ رشد جغرافیا، شماره ۴، زمستان ۱۳۶۴.

۱۳) صدیقی مهدی، فتوگرامتری و تفسیر عکسهای هوایی (جلد اوّل عکس خوانی) ـ چاپخانه دانشگاه مشهد، ۱۳۵۲.

۱۴) قریب، عبدالکریم، غارشناسی و اهمیّت کاربردی آن ـ رشد آموزش جغرافیا، شماره ۱۹ پاییز ۱۳۶۸.

۱۵) معماریانّ، حسین، فرآیندهای درونی تغییر دهندهٔ زمین (۱) ـ انتشارات دانشگاه آزاد ایران، بهمن ۱۳۵۸.

۱۶) نوتز هیولت، اصول هیدرولوژی جنگل ـ ترجمه کامیاب، ایرج، انتشارات جهاد دانشگاهی (مازندران) ۱۳۶۴.

۱۷) وثوق، زهرا، زیستگاه انسان سیارهٔ زمین ـ انتشارات دانشگاه آزاد ایران.

۱۸) وفائیان، محمود، ارقام زیر زمینی (فرازهایی از فن تونل سازی)، انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی اصفهان) آبان ۱۳۶۶.

19) Gorshkov G., Yakushova - Physical Geology Mir Publisher 1977.

20) Money D. C. - The Earth's surface, Physical Geography in Colour, Evans Brothers Ltd. 1977.

21) Ross simon - Introducing Physical Geography and Map Reading, Longman Group UK Ltd. 1988.

22) Thornbury W.D.- Principles of Geomorphology, 1969.

23) T. Trewartha, H. Robinson, H. Hammond - Fundamental of Physical Geography, Mc. Graw - Hill, 1968.

24) Yakushova - Geology with the Elements of Geomorphology, Mir Publishers, 1986.

توضیحات:

1) Groundgeomorphology

۲) در حقیقت کلمهٔ کارتوگرافی در نیمهٔ دوم قرن ۱۹ به علت نیاز مبرمی که به کلمات جدید به سبب توسعهٔ علم پیدا شد مورد استفاده قرار گرفت.

۳) در سال ۱۹۳۸ اولین کنگرهٔ «جغرافیای هوایی» در پاریس تشکیل شد. امانوئل دومارتن جغرافیدان مشهور فرانسه که در این کنگره شرکت داشت پس از جنگ دوم کتابی بنام «جغرافیای هوایی» منتشر کرد و در آن چگونگی استفاده از عکسهای هوایی و فتوگرامتری را در فیزیوگرافی (ژئومورفولوژی) بیان نمود و روشن کرد که اساس تحقیقات جغرافیایی بررسی عکسهای هوایی و بهره برداری از آنهاست (۱۳). در فرانسه ژنرال دولانوئه La Noe که توپوگراف بود، به همراه شخص دیگری بنام مارژری، اشکال کلاسیک ناهمواری ژورایی را بررسی کرده و در سال ۱۸۸۸ کتاب «مقدمه بر ژئومورفولوژی» را به چاپ رساندند (۹).

4) Groundgeomorphology

۵) در مطالعات مربوط به پدیده‌ها و فعل و انفعالات ژئومورفولوژیکی و پراکندگی فضایی آنها در کرهٔ زمین، می‌توان چهار قلمرو اصلی تشخیص داد: فضای قاره‌ای، فضای ساحلی، فضای اقیانوسی و فضای زیر زمینی (شکل ۱) (۱۰).

۶)

7) Irtrusive Body

8) Pluton

9) God of Underworld

10) Linear Pluton

11) Fissure Intrusion

12) Interbedded Intrusion

13) Massive or Mass Pluton

14) Lava Tunnel

۱۵) گدازه‌ها در سطح به سرعت سرد می‌شوند در حالی که در اعماق و در زیر پوستهٔ محافظ، حرارت خود را تا چند سال حفظ می‌کنند (۸).

۱۶) گاهی بلورهایی از کوارتز به وزن ۱/۵ تن، طول ۱/۵ تا ۲ متر و مقطع ۰/۷۵ متر در این غارها دیده می‌شود (۱۱).

17) Exogene

18) Cryptoalteration

19) Suffosion

20) Capillary

21)Under flow

22)Inferoflow

23) Defluence

۲۴) معمولاً عمق و خصوصیات فیزیکی خاک و لایه‌های زمین را که قدرت نگاهداری یا حمل آب را داشته باشد، با هم در نظر گرفته و به آن عمق هیدرولوژیکی می‌گویند (۱۶).

۲۵) بعضی از این دره‌ها آنقدر پرشیب و عمیق‌اند که موجب مرگ غارنوردان شده و لذا به درهٔ مرگ معروف شده‌اند.

۲۶) این چاهها در واقع همان پونورها و یا دنبالهٔ آنها هستند که عمق آنها گاهی به ۱۰۰ متر می‌رسد.

27) Biogene

28) Paleogene

29) Buried Topography

30) Buried or Dead Ice

31) Ground Ice

32) Ground frost

33) Fossill Ice

34) Subsurface Ice

35) Subsoil Ice

36) Subterranean or underground Ice

37) Ground Ice Layer

38) Ground Ice-Mound

39) Ice Laccolith

40) Kettle

41) Ground - Moraine

42) Technogene

43) Seikan

۴۴) تنها بر اساس یک محاسبهٔ تخمینی در سال ۱۹۶۲ طول کلی قنوات فعال ایران به ۱۶۰/۰۰۰ کیلومتر (۴ برابر محیط استوایی زمین) رسیده است (۱۸).

45) Rejuvenation

۴۶) غارها عمدتاً در سازندهای آهکی دورهٔ کرتاسه به وجود آمده‌اند (۱۴).

۴۷)

۴۸) به عنوان مثال هر قدر تراکم حفره‌های مکش زیاد باشد، گسترش شبکه‌های انحلالی زیر زمینی و در نتیجه منابع آب زیرزمینی بیشتر خواهد بود.

۴۹) آهکها دارای دو نوع تخلخل و نفوذپذیری هستند: تخلخل و نفوذپذیری اولیه که به خصیصه‌های لیتولوژیک بستگی دارد، تخلخل و نفوذپذیری ثانویه (یا نفوذپذیری فراگیر) که به درزها، شکستگیها، فضاهای ناشی از عمل انحلال مربوط است و بیشتر جنبهٔ ژئومورفولوژیکی دارد و در اینجا بیشتر مورد توجه ماست (۲۲).

نه به مفهوم زمین شناسی اش