فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی
سال ۸ (۱۳۹۱)، شماره ۱: ۵۰-۳۵
www.appliedgeology.ir

بررسی پتانسیل سازندها در ترشیری ایران مرکزی برای احداث مخازن زیرزمینی گاز طبیعی

خلیل رضایی*[۱]، نیما نظام‌وفا[۲]، ندا نوروزی[۳] و سروش نظام‌وفا[۴]

۱) استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه خوارزمی، khalil.rezaei@yahoo.com
۲) دانشجوی کارشناسی ارشد چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه خوارزمی
۳) کارشناس ارشد تکتونیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان
٤) کارشناس شرکت ملی نفت ایران، مناطق نفت‌خیز جنوب
*) عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۹۰/۸/۳۰ ؛ دریافت اصلاح شده: ۹۱/۲/۲۳؛ پذیرش: ۹۱/۲/۲٦؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۱/۳/۳۱

چکیده

با توجه به تقاضای فراوان برای سوخت مناسب و کم‌آلاینده به عنوان سوخت جایگزین نفت و روند روز افزون مصرف گاز طبیعی، ضرورت ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی دو چندان شده است (مقرون به صرفه و ایمن‌تر نسبت به روش‌های استفاده از تانک‌های سطحی و خط لوله). این مسئله خود یکی از اصلی‌ترین دلایل جهت مدیریت تولید و مصرف و در عین حال کنترل و در اختیار گرفتن بازار انرژی می‌باشد. در این مطالعه، سعی شد تا با نگاهی ویژه ساختمان و زمین‌شناسی گنبدهای نمکی ترشیری ایران مرکزی (چهار گوش سمنان- کوه گوگرد) که می‌تواند جهت سایت‌های ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی یوجی‌اس (Underground Natural Gas Storage, UGS) مناسب باشد، بررسی و معرفی شوند. این گنبدهای نمکی عموماً دارای هسته‌ای از ژیپس توده‌ای و خالص به سن ائوسن- الیگوسن می‌باشند و بیانگر انباشت در محیط دریایی هستند که توسط نمک‌های جوانتر میوسن (بخش‌های تبخیری سازند قرمز فوقانی) پوشیده شده است. نمک‌های جوان میوسن، نشان‌دهنده‌ی محیط پلایا- دریاچه‌ای هستند. گنبدهای نمکی ایران مرکزی بر اساس داده‌های موجود زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای، می‌تواند به عنوان یکی از گزینه‌های مناسب جهت ذخیره سازی زیرزمینی گاز طبیعی باشند. تأیید این موضوع، نیازمند مطالعات تکمیلی از قبیل عملیات حفاری و برداشت داده‌های ژئوفیزیکی دو بعدی و سه بعدی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ذخیره‌سازی زیرزمینی، سوخت کم‌آلاینده گنبد نمکی، محیط دریایی.

۱- مقدمه

نزدیکی گنبدهای نمکی کویر بزرگ به شهرهای مهم از جمله تهران از یک سو و مزایای کاربردهای آن در ذخیره سازی گاز طبیعی، قابلیت عالی ذخیره سازی برای سال‌های متمادی، مقرون به صرفه بودن انتقال گاز به مناطق مرکزی جهت استفاده و بهره برداری در زمان‌های اوج مصرف گاز و بی نیاز بودن کشور از منابع انرژی کشورهای همسایه شمالی از سوی دیگر، لزوم مطالعه و توجه بیشتر به ساختارهای بکر ایران مرکزی را افزایش می‌دهد. عواملی که توجه به ذخیره سازی گاز طبیعی در ساختار گنبدهای نمکی را دوچندان می نماید، عبارتند از:

۱- کنترل عرضه و تقاضای روزانه و سالانه در شهرهای بزرگ و مراکز صنعتی (Plaat 2009) (تصویر ۱). به این مفهوم که در زمان نیاز بیش از حد توان خط لوله گاز، از منابع ذخیره شده در زیرزمین

Archive of SID
www.SID.ir

(UGS) استفاده می شود و در زمان‌هایی که تقاضا کمتر از حد توان خط لوله گاز است، میزان اضافه گاز دوباره به مخزن تعبیه شده در زیر زمین باز می گردد.

۲- کاهش هزینه‌های انتقال گاز به وسیله توسعه شبکه لوله کشی (Zlender & Kravanja 2011).

۳- کاهش هزینه تنظیم رگولاتورهای گاز در مراکز صنعتی در اثر تغییر فشار گاز در فصول زمستان و تابستان (Havard & French 2009).

٤- ایجاد توازن لازم برای دخالت بیشتر در بازارهای جهانی انرژی و ایفای نقش بازدارنده در هنگام سقوط بهای انرژی در سطح بین المللی (Plaat 2009).

٥- افزایش اعتماد در سرمایه گذاری خارجی.

٦- در اختیار داشتن قدرت ذخیره سازی به عنوان یک ابزار قدرت در اقتصاد سیاسی و قطع وابستگی به کشورهای همسایه.

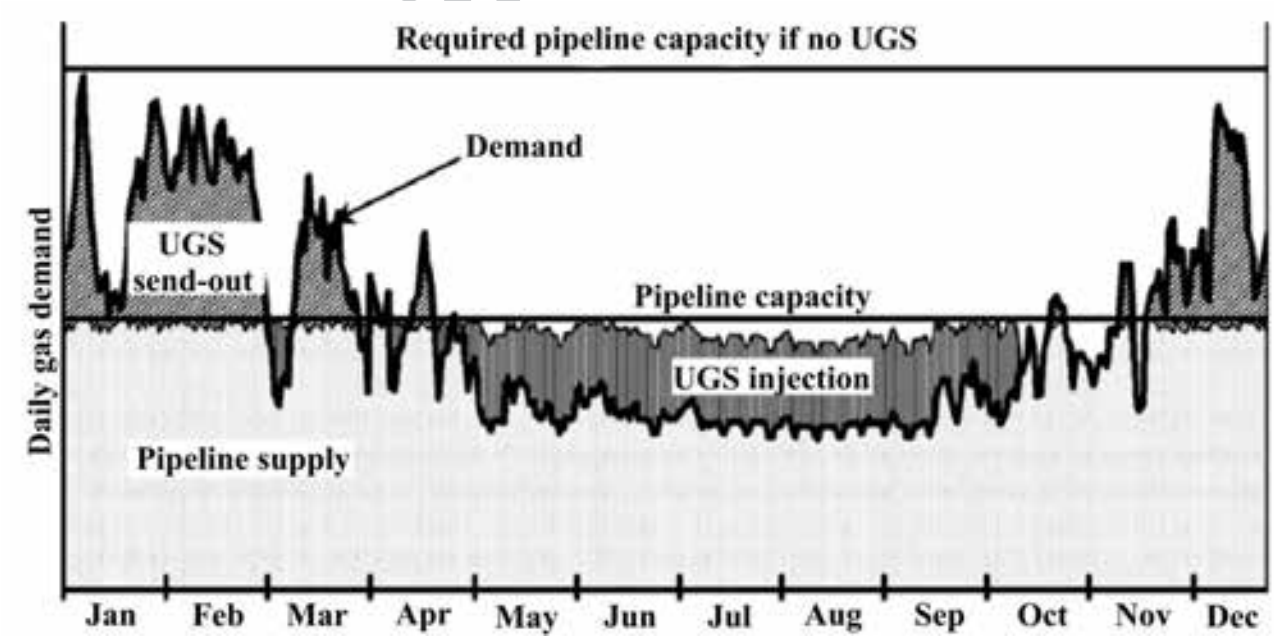
در این مطالعه سعی شد تا با بررسی ساختار گنبدهای نمکی ترشیری جنوب سمنان، مناطق مناسب برای تأسیس سایت‌های ذخیره سازی گاز طبیعی در جهت رفع مشکل چندین ساله کشور در اوج مصرف گاز طبیعی، معرفی گردد.

۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مساحت محدوده مورد مطالعه ۵۱۸۹/۵ کیلومتر مربع می‌باشد و شامل بخشی از نهشته‌های تبخیری ترشیری ایران مرکزی است. این منطقه در جنوب ساختار البرز و در شمال چهارگوش کوه گوگرد، در ٦٥ کیلومتری جنوب سمنان، ۱۱۸ کیلومتری جنوب شرقی گرمسار، ۹٦ کیلومتری جنوب غربی معلمان و در ۱۲۷ کیلومتری شمال غرب جندق واقع شده است. ساختارهای مورد بحث مربوط به گنبدهای نمکی بوده و دیگر نهشته‌های تبخیری (به خصوص در بخش مرکزی و غربی چهارگوش سمنان که ساختار گنبدی ندارند)، موضوع بحث این مقاله نمی‌باشند. در محدوده مورد مطالعه حدود ٦٦ گنبد نمکی، در امتداد ۱۰۷ کیلومتر با ساختارهای مختلف وجود دارد. موقعیت جغرافیایی گنبدهای نمکی مورد مطالعه، راه‌های دسترسی و همچنین کاربری اراضی منطقه، در تصویر ۲ آورده شده است.

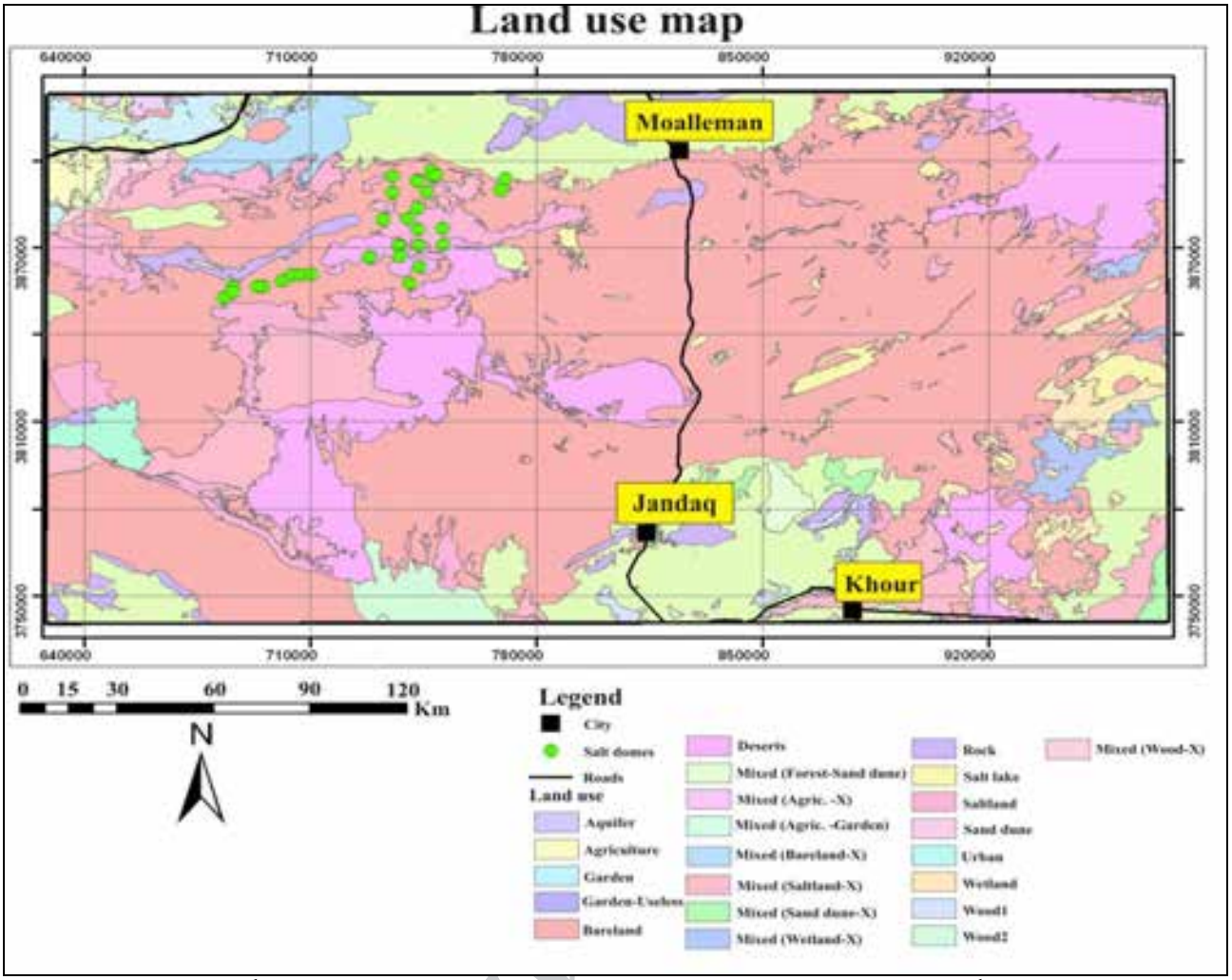
۳- روش مطالعه

بررسی و مطالعه ساختارهای گنبدهای نمکی ایران مرکزی و امکان سنجی آنها جهت انجام عملیات ذخیره سازی گاز طبیعی، با توجه به بکر بودن این ساختارها و نبود اطلاعات کافی و کامل در چنین سطح وسیعی نیازمند صرف وقت، هزینه و به کارگیری متخصصان علوم مختلف است و این امر بدون حمایت بخش‌های متصدی ذخیره سازی در کشور و تهیه داده‌های علمی دقیق و جدید امکان‌پذیر نخواهد بود. بنابراین، در این مطالعه سعی شد تا با رویکردی جدید، ساختار گنبدهای نمکی ایران مرکزی بررسی و تا حد امکان روند منطقی مطالعه در این محدوده را بیان نمود.



تصویر ۱- کنترل عرضه و تقاضای روزانه و سالانه در شهرهای بزرگ (Plaat 2009)

Archive of SID
www.SID.ir



تصویر ۲- موقعیت جغرافیایی گنبدهای نمکی مورد مطالعه، راه‌های دسترسی و همچنین کاربری اراضی منطقه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱/۰۰۰/۰۰۰ ایران ۱۳۸۸)

به‌طور کلی، روش علمی جهت مطالعه گنبدهای نمکی و دستیابی به سایت ذخیره سازی مناسب شامل مراحل زیر می باشد. جمع آوری و بررسی جامع کلیه اطلاعات و کاوش‌های قبلی از قبیل بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، تعیین موقعیت دقیق جغرافیایی، بررسی مورفولوژی و تهیه مقاطع مختلف از گنبدها با استفاده از تصاویر ماهواره ای، بررسی چینه‌شناسی، رسوب‌شناسی، بررسی ساختاری و ساختمانی، آنالیز وضعیت گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه، انجام عملیات زمین‌شناسی صحرایی، انجام عملیات لرزه نگاری دو بعدی و در صورت امکان سه‌بعدی، استفاده از تکنیک‌های ژئوفیزیکی گراویمتری و میکرو- گراویمتری، انجام حفاری اکتشافی و عملیات چاه پیمایی و تفسیر لاگ‌ها، مغزه گیری، تست‌های آزمایشگاهی مختلف بر روی مغزه‌ها و در نهایت ارائه مدل مناسب و پیشنهاد جهت شروع عملیات اجرایی (علوی ۱۳۸۲، Jackson et al. 1990).

در ابتدا، بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به گنبدهای نمکی با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، ساختمانی و تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های دو بعدی و سه بعدی توپوگرافی و مقاطع گوناگون در جهات مختلف از گنبدهای نمکی توسط نرم افزارهایی نظیر Surfer 9 و Global mapper 7 متعدد به منظور بررسی دقیق موقعیت و سطح ساختمان تهیه گردید. اطلاعات چینه شناسی، رسوب شناسی، ساختمانی، شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه و نیز روند عملیات ذخیره سازی از اسناد، مقالات و گزارشات قبلی(علوی ۱۳۸۲؛ Jackson et al. 1990) استفاده شده است

۴- بحث و بررسی

۴-۱- تاریخچه ذخیره سازی

ذخیره هیدروکربن در گنبدهای نمکی، کاملاً شناخته شده می باشد و تاکنون هزاران گنبد نمکی برای ذخیره مواد مختلف از جمله

www.SID.ir

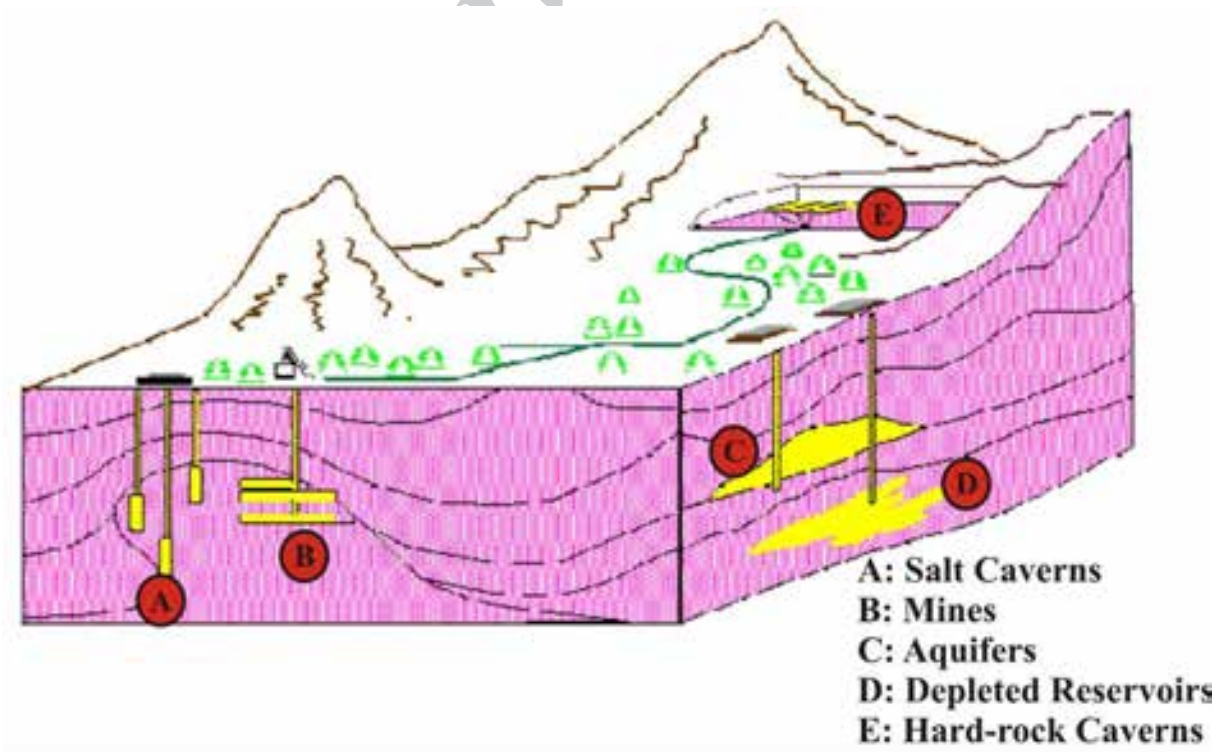
هیدروکربن‌ها مورد استفاده قرار گرفته اند (Thoms & Gehle 2000, Berest et al. 2001, Berest & Brouard 2003, Tenthorey et al., 2011). در گذشته، ایجاد حفره در توده‌های نمکی برای استخراج نمک متداول بوده است (Thoms & Gehle 2000). اگرچه آلمان‌ها در سال ۱۹۱٦ از حفره‌های نمکی متروک برای ذخیره هیدروکربورها در زیر زمین استفاده می‌کردند، اما ایجاد حفره به منظور ذخیره سازی، از اوایل دهه ۱۹۵۰ آغاز شد (تکین ۱۳۵۹). در سال ۱۹۱۵ برای اولین بار، ذخیره سازی زیرزمینی گاز طبیعی در شهر Welland، انتاریو کانادا با موفقیت انجام شد (Tomasko et al. 1997). در سال ۱۹٦۱ نیز اولین بار در Marysville میشیگان، از کاواک نمکی (حفراتی که در گنبدهای نمکی ایجاد می شوند) جهت استخراج محلول با هدف ذخیره سازی گاز طبیعی استفاده شد (Allen 1972). در ایالات متحده آمریکا، تا سال ۲۰۰۳ بیش از ۱۰۰۰ حفره برای ذخیره سازی محصولات هیدروکربوری مورد استفاده قرار گرفت (Knott 2003). در کشور ایران نیز در سال‌های اخیر فعالیت‌هایی در زمینه ذخیره سازی گاز طبیعی آغاز شده و فعالیت بر روی مخازن تخلیه شده هیدروکربوری در مناطق آران، تلخه و یورتشاه نیز در حال پیگیری می باشد (علوی ۱۳۸۲).

۴-۲- فرآیند ذخیره سازی زیرزمینی گاز طبیعی(UGS)

سه تیپ اصلی از سایت‌های ذخیره سازی شامل مخازن تخلیه شده در فیلدهای نفت و گاز (Plaat 2009)، کاواک‌های تخلیه شده درون لایه/ گنبد نمکی (Evans & Chadwick 2009) و مخازن آکیفری (علوی ۱۳۸۲، Katz & Lee 1990) می‌باشد (تصویر ۳). در حال حاضر بیشترین ذخیره سازی در مخازن تیپ ۱ انجام شده است (EIA 2002). یکی از شناخته شده ترین روش‌های ذخیره سازی در گنبدهای نمکی و دیاپیرها، ایجاد سایت ذخیره سازی با حفاری داخل گنبدها و ایجاد کپسول‌های ذخیره سازی گاز می باشد. برای ذخیره سازی، گاز فشرده به داخل کاواک تزریق می شود و بهره برداری نیز با همان فشار خواهد بود، به این ترتیب مخزن گاز مانند دم و بازدم عمل می کند (تصویر ٤)(تکین ۱۳۵۹).

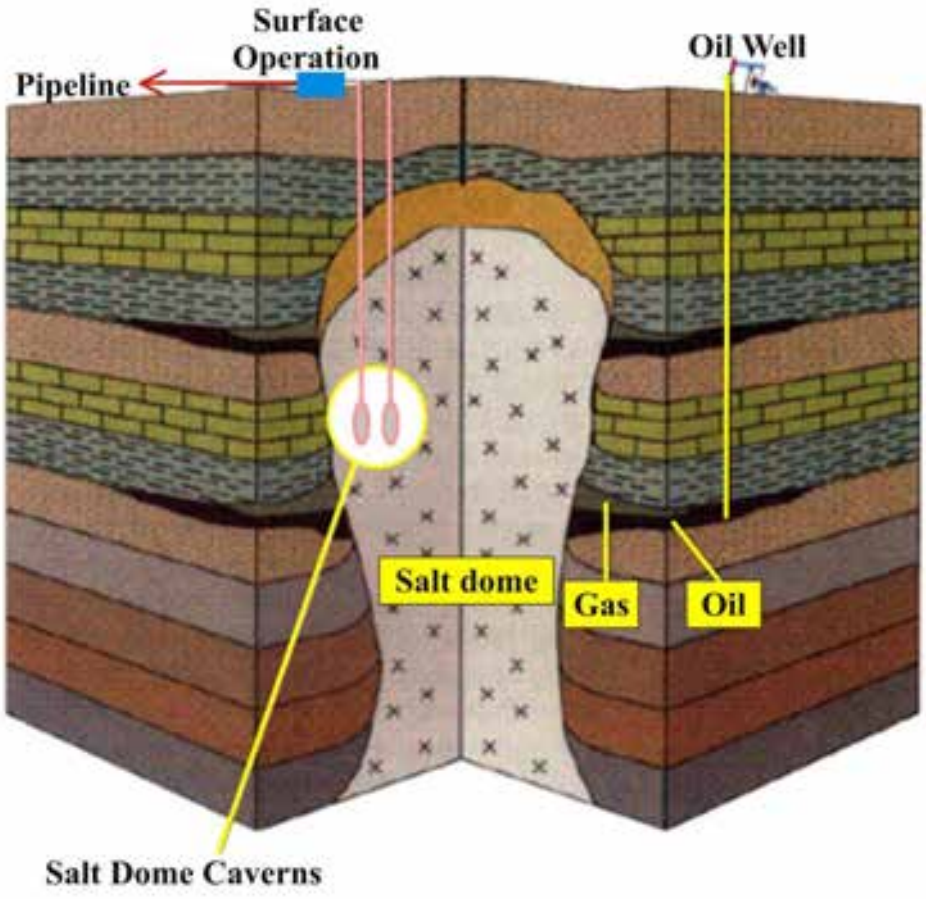
۴-۲-۱- روش‌های استخراج و بهره برداری زیرزمینی نمک

روش‌های استخراج شامل استخراج خشک و استخراج محلول می باشد. مهمترین روش، استخراج نمک به صورت محلول است که در طی آن نمک را با روش انحلالی شسته و استخراج می نمایند. حلالیت نمک، امکان استخراج هیدرولیکی را با حفاری یک چاه به درون آن و تزریق آب و تشکیل شورابه و پمپاژ آب نمک به سطح زمین مهیا می‌کند. شکل کاواک ایجاد شده با تغییر در جهت و نرخ چرخش آب و دائماً به وسیله دستگاه‌های امواج صوتی کنترل می گردد (Plaat 2009) (تصویر ۵).

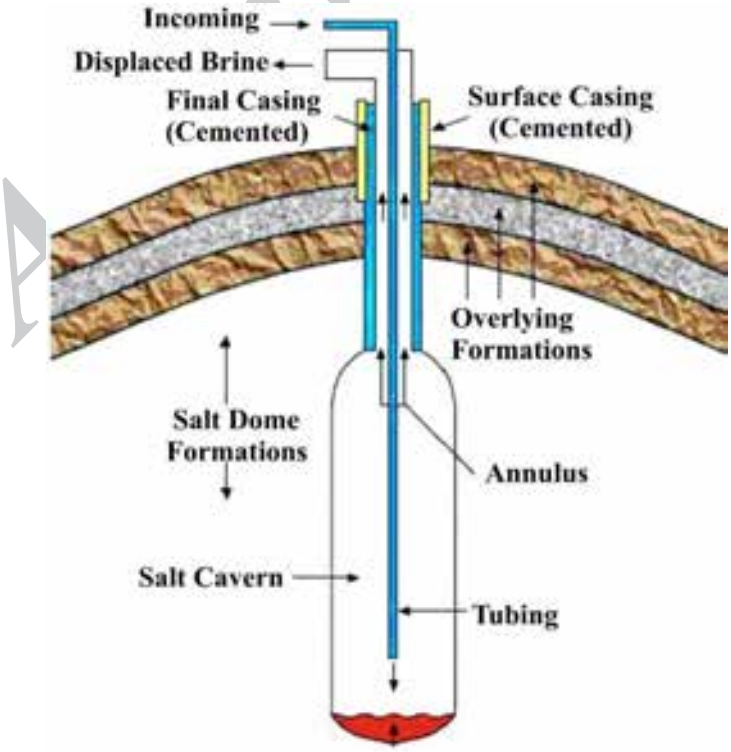


تصویر ۳- انواع روش‌های ذخیره سازی زیرزمینی (EIA 2004)

www.SID.ir



تصویر ٤- کاواک‌های ذخیره سازی زیرزمینی در گنبد نمکی (بدون مقیاس) **(EIA 2004)**



تصویر ٥- تصویر شماتیک از مکانیسم ایجاد حفره در گنبد نمکی (ساکت ١٣٨٤)

www.SID.ir

۴-۲-۲- فاکتورهای مهم در انتخاب سایت ذخیره سازی

در بررسی امکان ذخیره سازی در کاواک‌های نمکی، فاکتورهایی مانند عمق لایه‌های نمک، دستیابی به آب تازه (شیرین) برای شستشو، مواد اضافی و همراه نمک به طور تخصصی در نظر گرفته می شوند (علوی ۱۳۸۲). اما در مراحل اولیه کار و برای انتخاب سایت مناسب، پارامترهای مختلفی نظیر توپوگرافی، تکتونیک و لرزه خیزی، شرایط زیرسطحی، ساختاری (ساختمانی)، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، هیدرولوژی، پیش بینی وقایع زمین‌شناسی آینده، شرایط کلی زمین‌شناسی و مهندسی و ملاحظات اقتصادی و اجتماعی در نظر گرفته می شوند (Evans & Chadwick 2009, Miyazaki 2009, Byrnes & Young 2004, Havard & French 2009) (جدول ۱).

جدول ۱- فاکتورهای مهم در انتخاب سایت ذخیره سازی (علوی ۱۳۸۲).

فاکتورهای اصلی	فاکتورهای فرعی
توپوگرافی	
تکتونیک و لرزه خیزی	
شرایط زیر سطحی	عمق زون ذخیره ساز پیکربندی سازند، ضخامت و گسترش آن همگنی یا خلوص، یکنواختی، درجه غلظت طبیعت و وسعت روباره، لایه‌های تحتانی و جانبی
ساختاری(ساختمان)	شیب یا انحراف، گسل و درزه‌ها، گنبدزایی
ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی	نفوذپذیری، تخلخل و پراکنش انکلوزیون‌های گاز و سیالات موجود در نمک رفتار مکانیکی سنگ(نمک) اثرات حرارتی ظرفیت جذب سطحی منابع معدنی آب کانی‌های آبدار اثرات پرتوافشانی
هیدرولوژی	آبهای سطحی، آبهای زیرزمینی، طبیعت و منبع آبهای زیرزمینی، جهت، سرعت و حجم جریان آبهای زیرزمینی
پیش بینی وقایع زمین‌شناسی آینده	
شرایط کلی زمین‌شناسی و مهندسی	مساحت ناحیه سطحی و زون ذخیره ساز، گمانه‌ها و باز کننده‌های قبلی، حفاری چاه‌های اکتشافی و تونل‌ها، انتقال ماده تزریقی به سایت، اثرات زیست محیطی
ملاحظات اقتصادی و اجتماعی	وجود پتانسیل منابع طبیعی، قابلیت بهره برداری زمین، ترک جمعیت ناحیه، حوزه قضایی(مسائل قانونی) زمین، قابلیت دسترسی و سرویس دهی سایت

۴-۲-۳- مزایای گنبدهای نمکی از دیدگاه ذخیره سازی گاز طبیعی

مزایای گنبدهای نمکی که اهمیت آنها را از نظر زمین‌شناسی برای ذخیره سازی بالا می برد شامل موارد زیر می باشد.

گنبدهای نمکی قابلیت بهره دهی (سرعت) بالایی دارند، زیرا یک سازند نمکی به صورت یک مخزن ذخیره سازی فشار بالا عمل می کند. این ساختارها، گاز پایه‌ای کمی نیاز دارند (تقریباً ۲۵ درصد) و می توانند در وضعیت اضطراری به طور کامل بازیابی شود (رازانی و احمدی ۱۳۸۹). بنابراین، سایت ذخیره سازی نمکی، بر خلاف دیگر سایت‌ها، به ازای هر سال، چندین سیکل تزریق/ بازیابی دارد و برای کلان شهرهای پرمصرف مانند تهران، کاواک‌های نمکی ایران مرکزی می توانند گزینه مناسبی باشند. بر خلاف فیلدهای تخلیه شده که برای اجرای پروژه ذخیره سازی یا تست‌های سنجشی مختلف در آن، به چندین چاه نیاز است عملیات ذخیره سازی درون کاواک‌های نمکی آسان می‌باشد. زمان آماده‌سازی- بهره برداری یک ذخیره کاواکی نسبت به ذخیره نفت/گازی تخلیه شده، کوتاهتر است. به طور متوسط حدود ۱۸ تا ۲۴ ماه برای توسعه یک ذخیره نمکی در مقابل ۲۴ تا ۳۶

Archive of SID
www.SID.ir

ماه برای توسعه مخازن تخلیه شده زمان نیاز است. گاز بخش بالایی کاواک نمکی را ۳ الی ٤ بار، یا بیشتر در مدت زمان یک سال می توان برداشت کرد. و) کاواک نمکی از پوشش نمکی(Seal)، دیواره و سقف مناسب برخوردار است که ذاتاً غیرقابل نفوذ می باشد و احتمال هرگونه تراوش و نشت گاز طبیعی را به حداقل می رساند (علوی ۱۳۸۲; Han et al. 2006). بطور کلی می توان گفت که مزیت اصلی ذخایر کاواک، سیکل بسیار سریع آن می باشد. یعنی اپراتور می تواند طی حدود ۱۵ دقیقه از حالت تزریق به حالت بازیابی و مجدداً طی ۳۰ دقیقه به وضعیت اولیه باز گردد که نسبت به فیلدهای تخلیه شده یک برتری بزرگ محسوب می شود (Katz & Lee 1990).

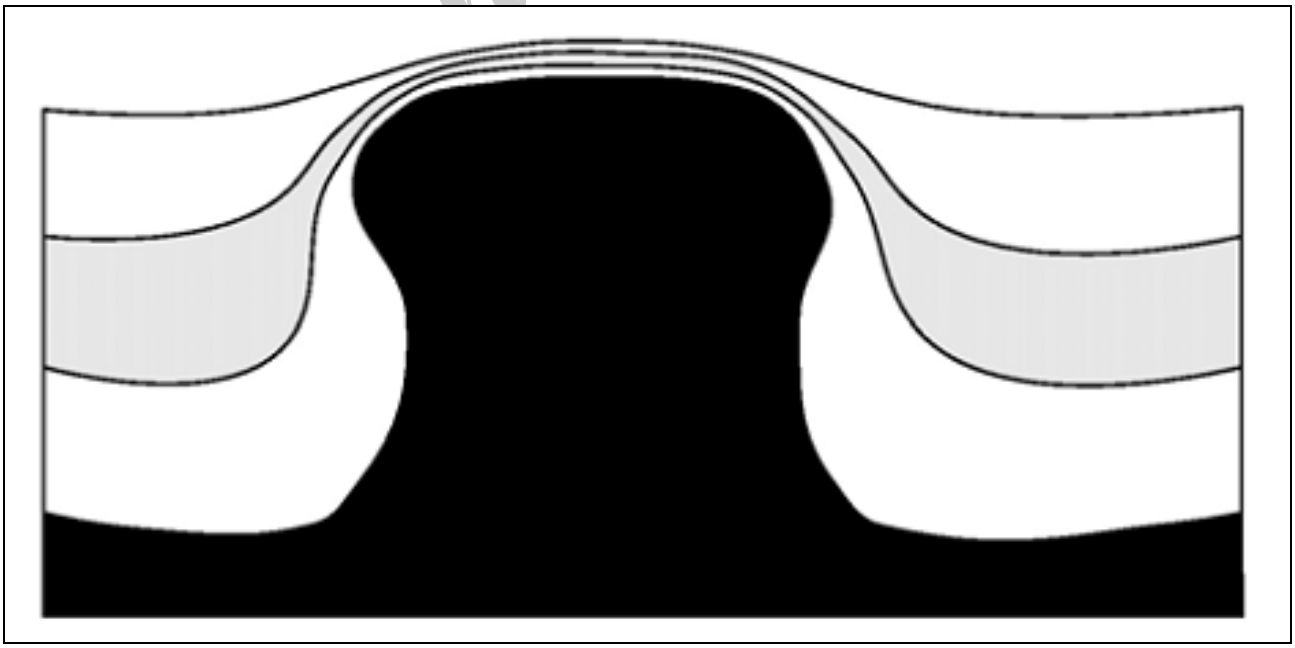
۴-۳- مکانیسم تشکیل گنبدهای نمکی

گنبدهای نمکی مدفون (Nonpiercement) را می توان بر حسب عمق دفن به انواع کم عمق، عمق متوسط و عمیق تقسیم نمود. مطالعات انجام شده در شمال باختری آلمان و خلیج مکزیک در آمریکا که گرانش و نیروهای تکتونیکی جانبی، عامل زایش گنبدهای نمکی هستند (مطیعی ۱۳۷٤). اگر طبقات بالایی توده نمکی سیال باشند، طی مکانیسمی سبب نازک شدن سقف شکل پذیر گنبد نمکی می گردد (تصویر ٦)(Nettleton 1934; Talbot et al. 1991). گنبدهای نمکی ایران مرکزی نیز سقف نازکی دارند که شامل سنگ‌های آواری دانه ریز به همراه گچ و هالیت می باشند (Jackson et al. 1990)، اما این نوع سقف در طبیعت نادر است و بیشتر گنبدها، لایه‌های بالایی شکننده‌ای دارند (Hudec & Jackson 2007).

۴-۴- زمین‌شناسی حوضه دشت کویر

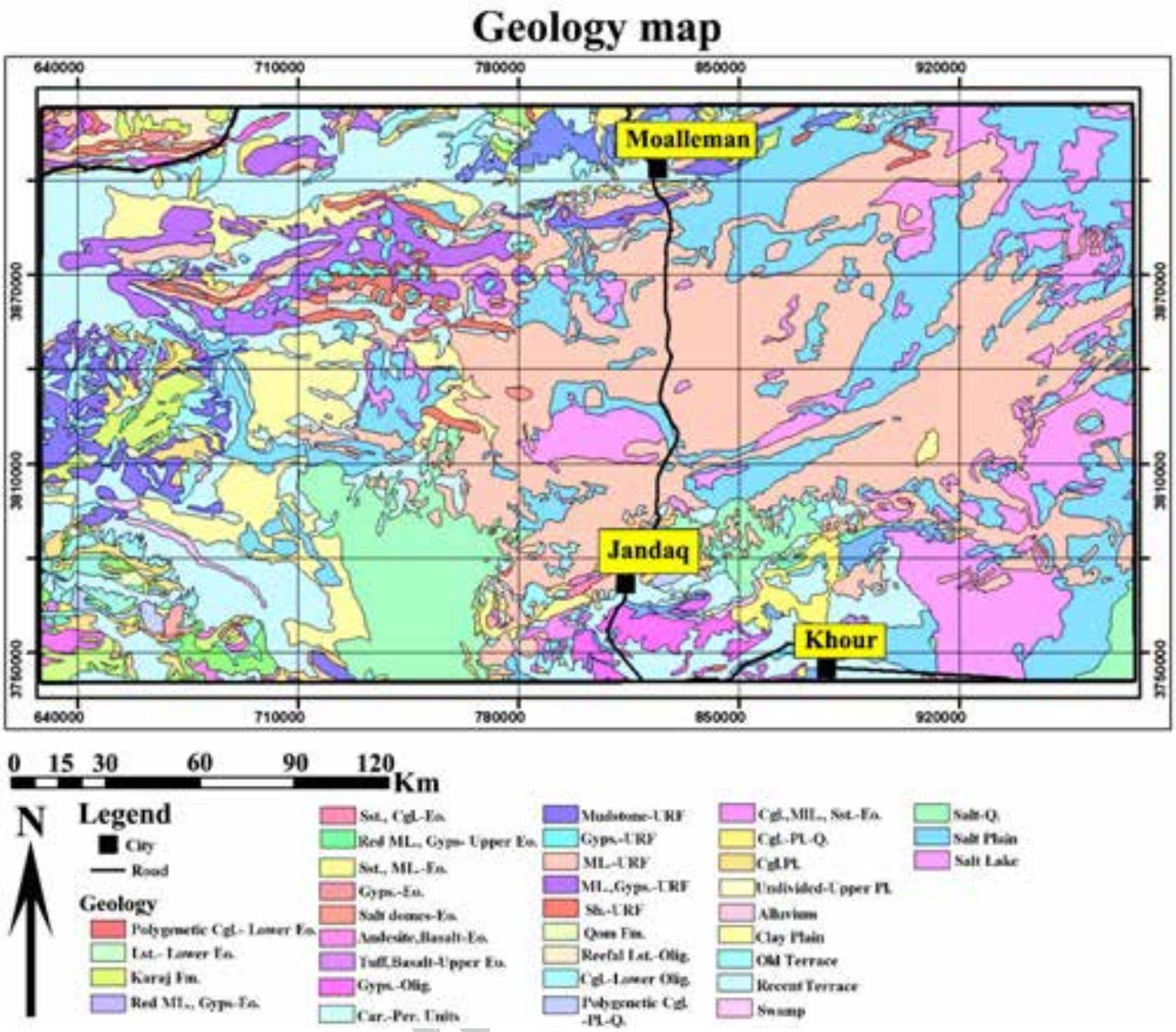
حوضه دشت کویر بزرگ، اساساً یک حوضه رسوبگذاری ترشیری می باشد که فرونشینی اصلی آن در طی کرتاسه صورت گرفته است. این فرونشینی به علت ریفتی شدن میکروپلاتفرم ایرانی (بلوک لوت) بوده و باعث نهشته شدن رسوباتی با ضخامت ۷-٦ کیلومتر در آن شده است (شریعتی نیا ۱۳۸۳، مؤید و قادرزاده ۱۳۸٤).

این حوضه‌های حاشیه‌ای که بیشتر در شرایط آب و هوایی خشک قرار داشته اند، به طور موقتی با اقیانوس در ارتباط بوده و توسط آب‌های دریایی نرمال پر می شده اند. در حقیقت شرایط آب و هوایی خشک و جریان هیدرولیکی بسته، باعث افزایش غلظت شورابه و در نتیجه رسوبگذاری هالیت و نمک‌های پتاس شده است (Rahimpour-Bonab et al. 2007). چین خوردگی ناحیه‌ای در مقیاس وسیع (فاز کوهزایی آلپی، کرتاسه تا پلیوسن) در حوضه دشت کویر موجب شده تا بتوان از دیدگاه مورفوتکتونیکی، این ناحیه را به سه ایالت تراست‌ها، ایالت ساختارهای بالشی مانند (Pillow Province) و ایالت دیاپیرها (Jackson et al. 1990) تقسیم نمود. امتداد ساختار این ایالت‌ها از روند چین خوردگی ناحیه‌ای تبعیت می کند (شریعتی نیا ۱۳۸۳). در تصویر ۷ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه مشاهده می گردد.



تصویر ٦- توده نمکی با سقف نازک و شکل‌پذیر (Hudec & Jackson 2007)

www.SID.ir



تصویر ۷- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱/۰۰۰/۰۰۰ ایران ۱۳۸۸)

۴-۴-۱- زمین‌شناسی گنبدهای نمکی ایران مرکزی

گنبدهای نمکی واقع در جنوب شهر سمنان (کویر نمک) اکثراً دارای دو نوع هسته تبخیری می باشند که در برخی از آنها سنگ گچ به صورت هاله‌ای در اطراف سنگ نمک قرار گرفته است. این گنبدها را می توان گنبدهای ترکیبی نمک (Composite Salt Domes) و یا گنبدهای مختلط (Mixed Domes) نامید (احتشام زاده افشار ۱۳۶۹، مریدی ۱۳۶۹). بر اساس نظر جکسون (Jackson et al. 1990) تمرکز گنبدهای ناحیه‌ای جنوب سمنان باید مربوط به تراکم زیاد نمک در قاعده سازند قرمز بالایی باشد، اما در رخنمون‌های بخش بالایی این سازند هم لایه‌های نمک و هم لایه‌های گچ زیادی وجود دارد (Jackson et al. 1990). تمام گنبدهای این ناحیه در حدود ۱۰۰ متر از زمین اطراف خود بلندتر می‌باشند و قطر آنها در حدود ۸ کیلومتر است (تصویر ۸).

مارن‌های با لایه بندی خوب و افق‌های ماسه سنگی اطراف گنبدها به سمت بالا کج شده اند. در اطراف گنبدهای نمکی هاله‌ای از سنگ گچ با شیب تقریباً قائم قابل مشاهده است. بسیاری از گنبدها، مارن‌های سبز رنگ نواری پیچیده شده از بخش زیرین سازند قرمز بالایی را درون خود دارند. سنگ‌های آتشفشانی و آذرین نفوذی نیز در بعضی از گنبدها قابل مشاهده می‌باشند که در نواحی مختلف ترکیب‌های متفاوتی دارند. عموماً این سنگ‌های آذرین منشاء گابرویی دارند (Jackson et al. 1990).

بر اساس نظر اشتوکلین (Jackson et al. 1990) این گنبدهای نمکی از دو سازند نمک نواری میوسن بدون انکلوزیونهای آتشفشانی و نمک‌های متراکم ائوسن و الیگوسن همراه با مواد آتشفشانی تشکیل شده‌اند. در این گنبدهای مختلط، نمک‌های جوانتر معمولاً در حاشیه گنبد و نمک‌های قدیمی تر در مرکز گنبد نمکی قرار دارند. گنبدهای

www.SID.ir

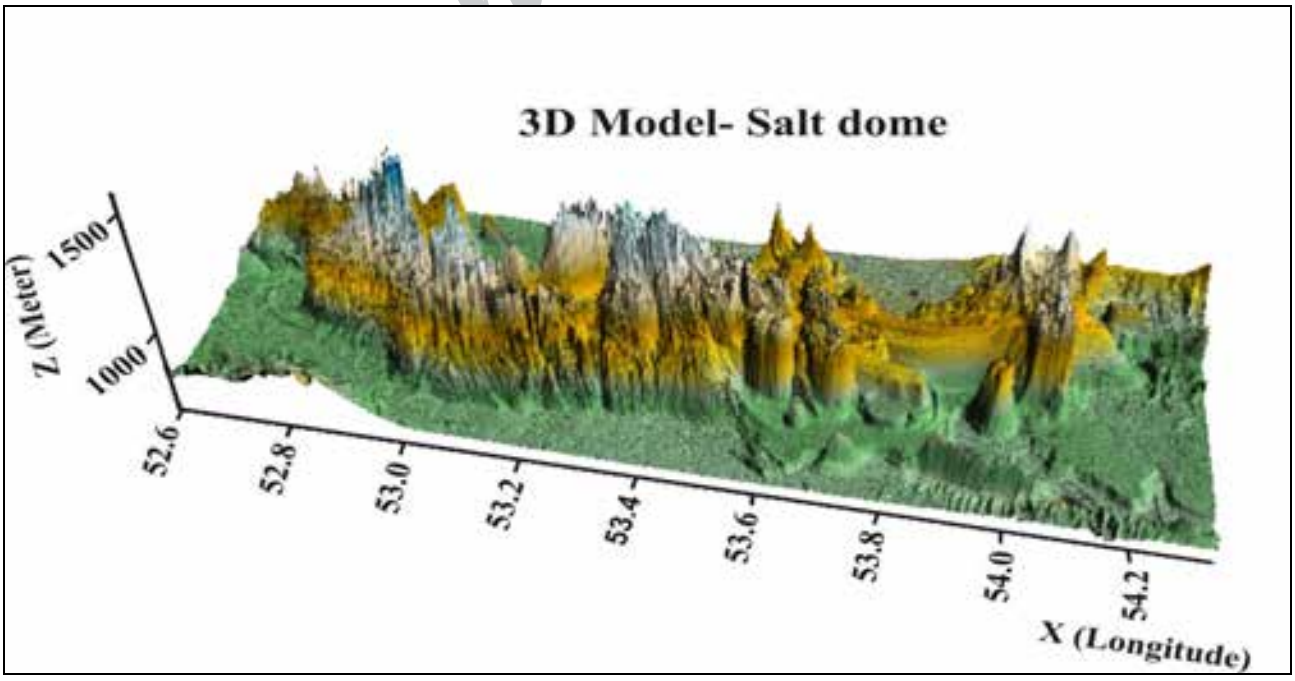
نمک به طور درهم و نامنظم چین‌های قبلی را قطع کرده بنابراین، نازک شدن لایه‌ها یا ناودیس حاشیه‌ای (Rim & Syncline) در سنگ‌های اطراف نمک مشاهده نمی شود. به عقیده وی تمام این واقعیت‌ها نشان می دهند که تشکیل گنبدهای نمکی عموماً در اثر رخدادهای بعد از حرکات چین خوردگی اواخر ترشیری بوده و مستقل از آن انجام شده است. بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های ماهواره‌ای موجود و بر مبنای رخنمون سطحی، حدود ٦٦ مورد از گنبدهای نمکی و یا لایه‌های تبخیری در کل ایران مرکزی تشخیص داده شده است. در جداول ۲، ۳ و ٤، مشخصات مربوط به موقعیت جغرافیایی، گسترش سطحی و جنس سازندهای دربرگیرنده برخی از گنبدهای نمکی محدوده مورد مطالعه آورده شده است. ساخت‌های مورد مشاهده، به صورت کروی تا بیضوی از مساحت‌های یک کیلومتر تا گنبدهای نمکی ترکیبی با مساحت بیش از ۱۰۰ کیلومتر مربع می باشند. یکی از مهم‌ترین مطالعات انجام شده در این منطقه مطالعات جکسون و همکاران (Jackson et al. (1990 می‌باشد. وی با ترکیب اطلاعات بدست آمده در طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۹، اطلاعات منتشر شده تعدادی از چاه‌های منطقه و اطلاعات سنجش از دور (مانند عکس هوایی و ماهواره ای)، نقشه‌های ساختمانی را تهیه نمود.

۴-۴-۲- واحدهای چینه شناسی گنبدهای نمکی ترشیری ایران مرکزی

گنبدهای نمکی ایران مرکزی دارای سن‌های متفاوتی می باشند. بر اساس نظر جکسون و همکاران (Jackson et al. 1990)، سنگ نمک در گنبدهای نمکی کویر بزرگ، دو سن متفاوت ائوسن- الیگوسن و میوسن دارد. نمک‌های ائوسن- الیگوسن از نوع ژیپس توده‌ای و خالص می‌باشند که به احتمال زیاد در یک محیط دریایی انباشته شده‌اند. نمک‌های جوان تر به سن میوسن، شامل تکرار دوره‌ای نمک، سنگ ژیپس، مارن ژیپس دار، گلسنگ، رس و سنگ نمک‌دار می باشند.

این نمک‌ها، به دلیل فراوانی رس و تکرار چرخه ای، به ظاهر در یک محیط پلایا- دریاچه‌ای تشکیل شده و به عضو پایینی سازند قرمز بالایی(M1) تعلق دارند (آقانباتی ۱۳۸۳). گذر از نمک‌های ائوسن- الیگوسن (قدیمی‌تر) به نمک‌های جوان میوسن به صورت ناگهانی است و ظاهراً لایه‌های قاعده‌ای نمک جوان تر به طور هم شیب نمک‌های قدیمی را می پوشاند.

به نظر جکسون و همکاران(Jackson et al. 1990)، سن نمک‌های جوان تر تنها میوسن نمی باشد و تغییرات سنی آن از الیگوسن تا میوسن است و با رخساره‌های تبخیری سازند قرمز پایینی، سازند قم و سازند سرخ بالایی هم ارز می باشد. در این گنبدهای نمکی، نمک‌های قدیمی ائوسن- الیگوسن عموماً در هسته گنبد برونزد دارند و به رغم انحلال پذیری بیشتر (به لحاظ خلوص) نسبت به نمک جوان تر، با سرعت بیشتری بالا می آیند. سرعت این بالا آمدگی حدود ۱۰ میلیمتر در سال برآورد شده است.



تصویر ۸- مدل سه بعدی از گنبدهای نمکی کویر بزرگ

www.SID.ir
Archive of SID

جدول ۲- مشخصات و موقعیت دقیق گنبدهای محدوده مورد مطالعه در چهارگوش سمنان

موقعیت	موقعیت جغرافیایی (طول- عرض)	جنس	سازندهای دربرگیرنده	گسترش سطحی
جنوب سمنان	35° 10'-53° 35'	نمک(Salt)	سازند قرمز فوقانی و در بخش‌هایی رسوبات جدید کواترنر	23km²
	35° 07'-53° 35'	نمک(Salt)		25km²
	35° 02'-53° 38'	نمک(Salt)		5.6km²
	35° 00'-53° 40'	نمک(Salt)		11 km²
	35° 04'-53° 40'	نمک(Salt)		8.7 km²
	35° 07'-53° 42'	نمک(Salt)		9.3 km²
	35° 09'-53° 40'	نمک(Salt)		3 km²
	35° 09'-53° 40'	نمک(Salt)		1.8 km²
	35° 09'-53° 58'	نمک(Salt)		6.8 km²
	35° 10'-53° 43'	نمک(Salt)		1.8 km²
	35° 11'-53° 43'	نمک(Salt)		1.25 km²
	35° 10'-53° 44'	نمک(Salt)		1.25 km²
	35° 02'-53° 33'	نمک(Salt)		1.2 km²
	35° 07'-53° 57'	نمک(Salt)		1.25 km²

جدول ۳- مشخصات و موقعیت دقیق گنبدهای محدوده مورد مطالعه در چهارگوش کوه گوگرد

موقعیت	موقعیت جغرافیایی (طول- عرض)	جنس	سازندهای دربرگیرنده	گسترش سطحی
شمال کوه گوگرد	34° 48'-53° 00'	نمک‌های کریستالیزه شده و ژیپس	احاطه شده توسط سازند قرمز فوقانی	1.25km²
	34° 50'-53° 02'			13.12 km²
	34° 49'-53° 02'			1.25 km²
	34° 50'-53° 08'			8.75 km²
	34° 50'-53° 07'			1 km²
	34° 51'-53° 12'			5 km²
	34° 52'-53° 14'			5 km²
	34° 52'-53° 16'			7.5 km²
	34° 52'-53° 18'			13 km²
	34° 55'-53° 30'			169 km²
	34° 57'-53° 36'			20 km²
	34° 55'-53° 36'			41 km²
	34° 57'-53° 40'			22.5 km²
	34° 53'-53° 40'			42 km²
	34° 50'-53° 38'			16 km²
	34° 57'-53° 45'			28 km²
	34° 50'-53° 48'			22.5 km²
	35° 00'-53° 45'			16 km²

جدول٤- مشخصات و موقعیت دقیق گنبدهای محدوده مورد مطالعه در چهارگوش کوه گوگرد، تفکیک شده بـه طـول جغرافیـایی ´۳۰ ° ۵۳ شـرقی و عرض جغرافیایی ´۵۵ °۳٤ شمالی

موقعیت جغرافیایی (طول- عرض)	جنس	سازندهای دربرگیرنده	گسترش سطحی
تفکیک شده به ۸ مورد	نمک‌های کریستالیزه شده و ژیپس	احاطه شده توسط سازند قرمز فوقانی	23.75km²
			29.3 km²
			21 km²
			24 km²
			16.8 km²
			21.8 km²
			9.3 km²
			23.1 km²

Archive of SID
www.SID.ir

جکسون و همکاران (Jackson et al. 1990)، سه واحد چینه‌ای را در این منطقه معرفی نموده اند که به شرح زیر می باشد.

۱- نمک‌های قدیمی با ضخامت واقعی ۱ تا ۲ کیلومتر که ژیپس تقریباً خالص است و در زیر رسوبات دریایی الیگومیوسن قرار گرفته‌اند.

۲- نمک‌های جدیدتر دندانه‌ای و ناهموار که شامل تناوبی از نمک، گچ، ژیپس مارنی، گل سنگ‌های سیلیسی و گل سنگ می باشند و تحت شرایط پلایا و دریاچه‌ای در طی الیگوسن (؟)- میوسن ایجاد شده‌اند و ضخامت واقعی آن در حد ۱/۵ کیلومتر است (عضو M1 سازند قرمز فوقانی).

۳- جوان‌ترین واحد شامل حداقل ۳ کیلومتر شیل‌های آهن دار قرمز رنگ با میان لایه‌های گچی و ماسه سنگ‌های دانه ریز است که دو عضو M2 و M3 از سازند قرمز فوقانی را تشکیل می دهد.

۴-۴-۳- ساختار داخلی گنبدهای نمکی

گنبدهای نمکی دارای شکل‌های هندسی و ساختارهای داخلی متنوعی هستند که بر اساس الگوی داخلی قابل تقسیم به دو دسته گنبدهای نمکی خیمه‌ای (Canopy Domes) و گنبدهای بالشی و ساده(Pillow and Simple Domes) می باشند (تصویر ۹) (Jackson et al. 1990). طبقه بندی جزئی تر گنبدهای نمکی (بر اساس ویژگی لایه‌های تشکیل دهنده) شامل گروه‌های زیر می باشد.

تصویر ۹- طبقه‌بندی و تفکیک گنبدهای نمکی ایران مرکزی بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه

گنبدهای گروهA: گنبدهای ساده با پوشش نازک لایه.

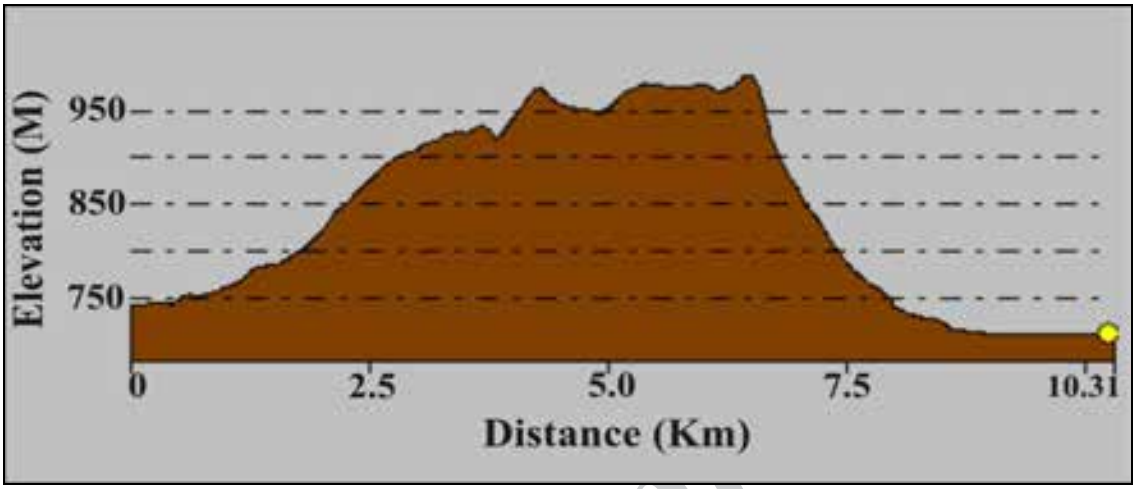
گنبدهای گروه B: گنبدهای با هسته نمک قدیمی (Older Salt) و یک پوشش گنبدی ساده، مانند گنبد شماره ۱۰ که دارای گسل مهم منطقه‌ای می باشد. در این گنبد نمکی به دلیل همراهی خاصی که با گسل وجود دارد، رشد اولیه احتمالاً توسط گسل خوردگی ایجاد شده است. با این حال هیچ گونه ارتباط جدی بین گسل خوردگی منطقه‌ای و الگوی داخلی گنبدهای نمکی این گروه مشاهده نمی شود. البته این گروه تنها گروه از گنبدهای نمکی نیستند که به همراه گسل‌ها مشاهده می شوند. گنبد شماره ۱۰ دارای برآمدگی از ژیپس به صورت باریک و کشیده است که نمک‌های قدیمی را می پوشاند و از سه طرف توسط برآمدگی رسوبات قرمز فوقانی احاطه شده است. در یال جنوب غربی مشاهده لایه‌های قرمز، سبز و سفید نشان دهنده آن است که گنبد شامل بخش‌های عمیق تر عضو M2 می باشد و حداکثر شیب آن ۵۰ درجه است. در پیرامون گنبد شماره ۱۰، لایه‌های عضو M2 که به شدت رنگی هستند، توسط لایه ضخیمی از آهک که دارای استراکودهای فراوانی است پوشیده شده اند. ارتفاع توپوگرافی این گنبد نمکی با توجه به عکس‌های موجود، حدود ۳۵۰ متر از سطح زمین تعیین شده است (تصویر ۱۰و ۱۱). با توجه به تصویر ۱۱، عرض رخنمون یال جنوبی لایه‌های طاقدیسی با شیب مضاعف حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد عرض رخنمون شمالی است. این مسئله بیانگر آن است که

www.SID.ir

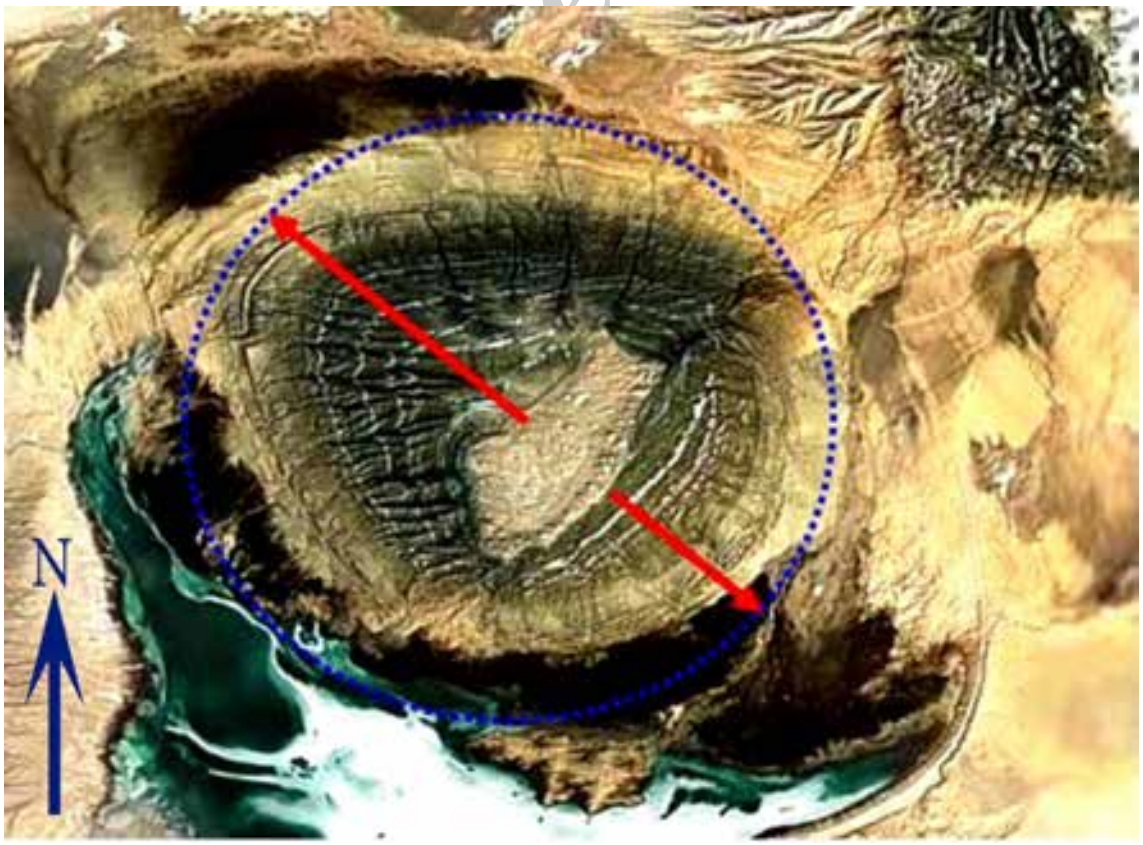
شیب یال جنوبی بسیار شدیدتر از یال شمالی است و لایه طاقدیسی به سمت جنوب شرق نزدیک می شود. همچنین هسته ساختار برجسته با شیب مضاعف به وضوح نشان دهنده چندین مرحله از جابجایی تبخیری‌ها در اثر جریان تکتونیکی است.

گنبدهای گروه C : این گروه، گنبدهایی با هسته نمک قدیمی و پوشش نازک و ناپیوسته از لایه‌های بالایی می‌باشند.

گنبدهای گروه D : در این گروه، هسته از نمک‌های جوان و قدیمی و پوشش نازک و ناپیوسته‌ای از لایه‌های بالایی تشکیل شده است. نمونه‌های این گروه شامل گنبدهای نمکی ١٦ و ١٧ می باشد. گنبدهای گروه D، با توجه به بزرگی اندازه، فراوانی و منشأ دو لایه‌ای، تعیین‌کننده‌ی ویژگی‌های کویر بزرگ می‌باشند.



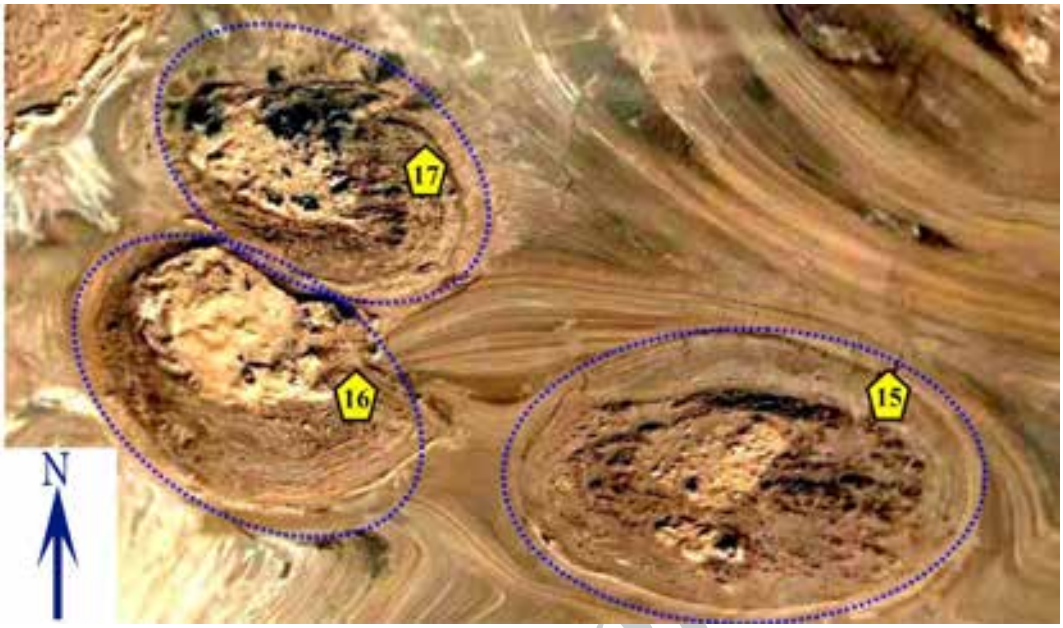
تصویر ١٠- مقطع رسم شده از گنبد نمکی شماره ١٠ با ارتفاع تقریبی ٣٥٠ متر از سطح زمین (Jackson et al. 1990)



تصویر ١١- گنبد نمکی شماره ١٠ که در آن شیب دو طرفه گنبد روی تصویر ، کاملاً مشخص می‌باشد

www.SID.ir

دیاپیریسم این گروه از کنار هم قرار گرفتن لایه‌های نمک قدیمی و جدید در یک ساختمان نمکی ترکیبی ایجاد شده است. ارتباط ساختمانی این گنبدها با لایه‌های دربرگیرنده مشابه گروه C می باشد. کلیه‌ی گنبدهای نمکی گروه D، در مرکز دارای نمک قدیمی هستند که توسط نمک جدید احاطه شده و این نمک نیز توسط هاله‌ای از نمک قدیمی تر احاطه شده‌اند. بیرونی ترین لایه نمک، نیز در کنار نوار حاشیه‌ای ژیپسی قرار گرفته است (تصویر ۱۲).



تصویر ۱۲- تصویر گنبدهای نمکی جنوب سمنان (15, 16, 17) در مرز بین ورقه سمنان و کوه گوگرد

به دلیل وجود این رسوبات پوشاننده، به نظر می رسد که نمک‌های قدیمی تر وسعتی بیش از آن چه که روی نقشه و عکس‌های هوایی قابل مشاهده است داشته باشند. این حاشیه از نمک‌های قدیمی نازک لایه بوده و یا به صورت بین لایه‌ای با ژیپس‌ها می باشند که به دلیل مقاومت بیشتر سنگ‌های ژیپسی در برابر انحلال بطور جدا مشاهده می شوند. میزان نازک شدگی توسط انحلال افزایش یافته است. ته نشینی رسوباتی بادی لس (Loess) بر روی نمک‌های قدیمی، باعث تیره شدن سطح آنها می گردد. این حاشیه گنبد نمکی بیشترین بخش رخنمونی است که تحت انحلال آبهای سطحی قرار گرفته است. این نمک به صورت تفریقی از بین رفته و باعث شده فراوانی و ضخامت ژیپس‌ها که در بخش بیرونی گنبدها قرار دارند، بیشتر به نظر برسد.

گنبدهای گروه E: در این گروه، هسته از نمک‌های جوان و قدیمی و پوشش نازک و پیوسته‌ای از لایه‌های بالایی تشکیل شده است.

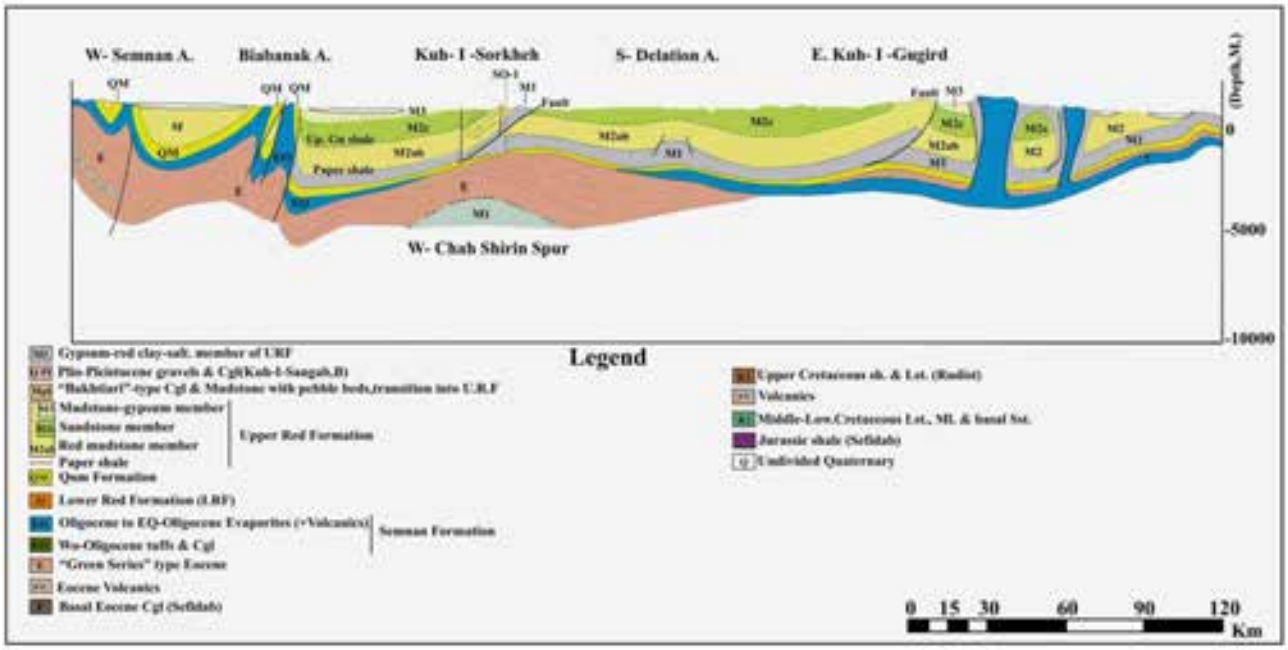
نمونه این گروه از گنبدها، گنبد نمکی شماره ۱۵ است (تصویر ۱۲). این گروه به ظاهر شبیه به گنبدهای گروه D می باشند ولی بخش بیرونی نمک‌های قدیمی در آن بسیار کمتر است. همچنین در این گروه سنگ‌های پوشاننده اطراف به طور پیوسته با خود گنبد نمکی قرار گرفته اند. گنبدهای گروه F: هسته این گروه، از نمک‌های قدیمی و پوشش پیوسته و ضخیم از لایه‌های بالایی تشکیل شده است. در بخش مرکزی گنبدهای این گروه، نمک‌های قدیمی در کنار ناهمواری‌ها و با رنگ تیره (به صورت پراکنده) قابل مشاهده می‌باشند. با توجه به بررسی‌های انجام شده، به نظر می رسد این بخش از تیرگی‌ها مربوط به رسوبات بادی مانند لس‌ها باشد، (البته احتمال حضور انکلوزیون‌های مافیک را نیز نباید نادیده گرفت). ریشه دار بودن این گنبدهای نمکی، یکی از موضوعات مهم است که با توجه به مقاطع عرضی چینه شناسی موجود در اکثر موارد می توان انتظار داشت که حداقل ریشه لازم جهت انجام عملیات ذخیره سازی را داشته باشند (تصویر ۱۳). در نشریه سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده در سال ۲۰۰۱ (منبع آورده شود)، گنبدهای نمکی ایران مرکزی به عنوان مناسب‌ترین سایت‌های ذخیره سازی زیرزمینی از نوع کاواکی شناخته شدند (علوی ۱۳۸۲). البته جهت انتخاب دقیق و مطمئن گنبد نمکی خاص، مطالعات تکمیلی ضروری به نظر می رسد.

۴-۴-۴- گسل‌ها، شکستگی‌ها و لرزه خیزی منطقه

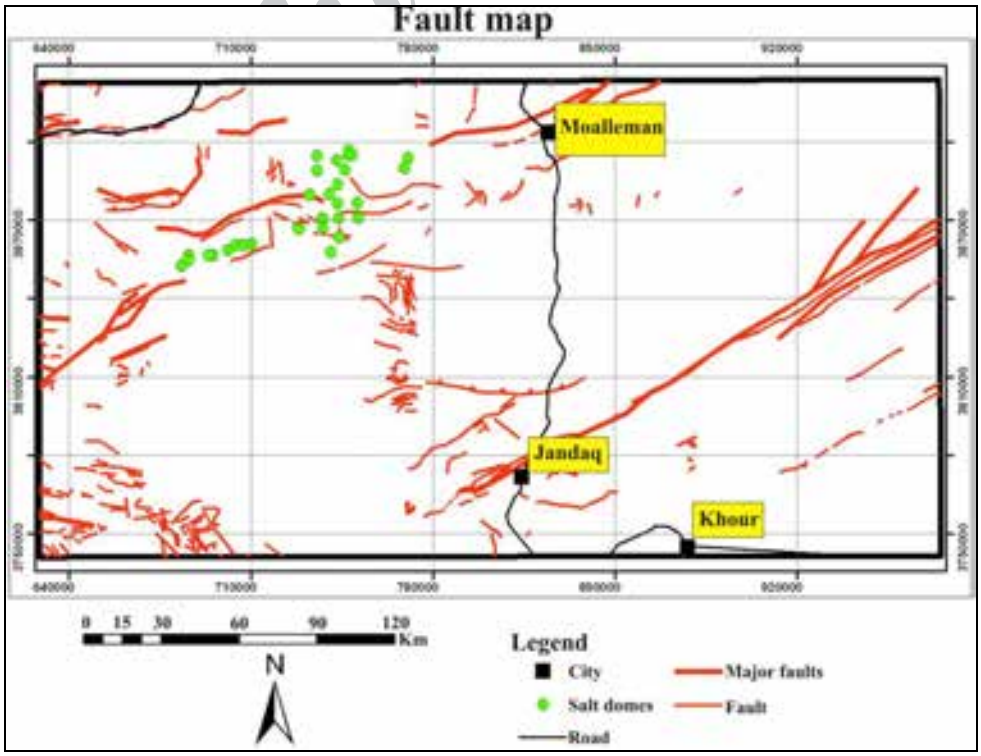
بر اساس نقشه‌های ماهواره‌ای و زمین‌شناسی موجود، گسل‌ها و شکستگی‌های زیادی در ارتباط با گنبدهای نمکی مورد مطالعه، شناسایی شدند. بررسی میزان تأثیر گسل‌ها و شکستگی‌ها بر روی وضعیت گنبد نمکی خاص که به عنوان کاندید ذخیره سازی باشد،

Archive of SID
www.SID.ir

نیازمند مطالعات موردی بیشتری است (تا از دیدگاه مهندسی و میزان پایداری ساختمان نیز مورد تأیید باشد). زمین لرزه‌های ثبت شده در دشت کویر بزرگ، کم عمق، قوی ولی منقطع بوده و دوره بازگشت آنها در مرکز دشت کویر ۲۲، ۱۷۰ و ۱۱۵۰ سال، با بزرگی ۵/۵ و ۶/۵ ریشتر می باشند. به سمت شمال دشت کویر بزرگ، گسل‌ها فعال تر بوده و دوره بازگشت آنها ۵، ۳۰ و ۲۵۰ سال است (Nowroozi & Ahmadi 1986). مطالعه تاریخچه زمین لرزه‌های دشت کویر، مکان گسل‌های فعال این ناحیه را مشخص نمود (Ambraseys & Melville 1982). بررسی فعالیت این گسل‌ها نشان داد که تمامی آنها دارای مؤلفه راست لغز معکوس و امتداد لغز می باشند (کنگی ۱۳۸۶، شریعتی نیا ۱۳۸۳، Berberian 1981). در تصویر ۱۴، نقشه گسلی منطقه و در تصویر ۱۵، پهنه‌های لرزه‌ای منطقه قابل مشاهده می‌باشند.

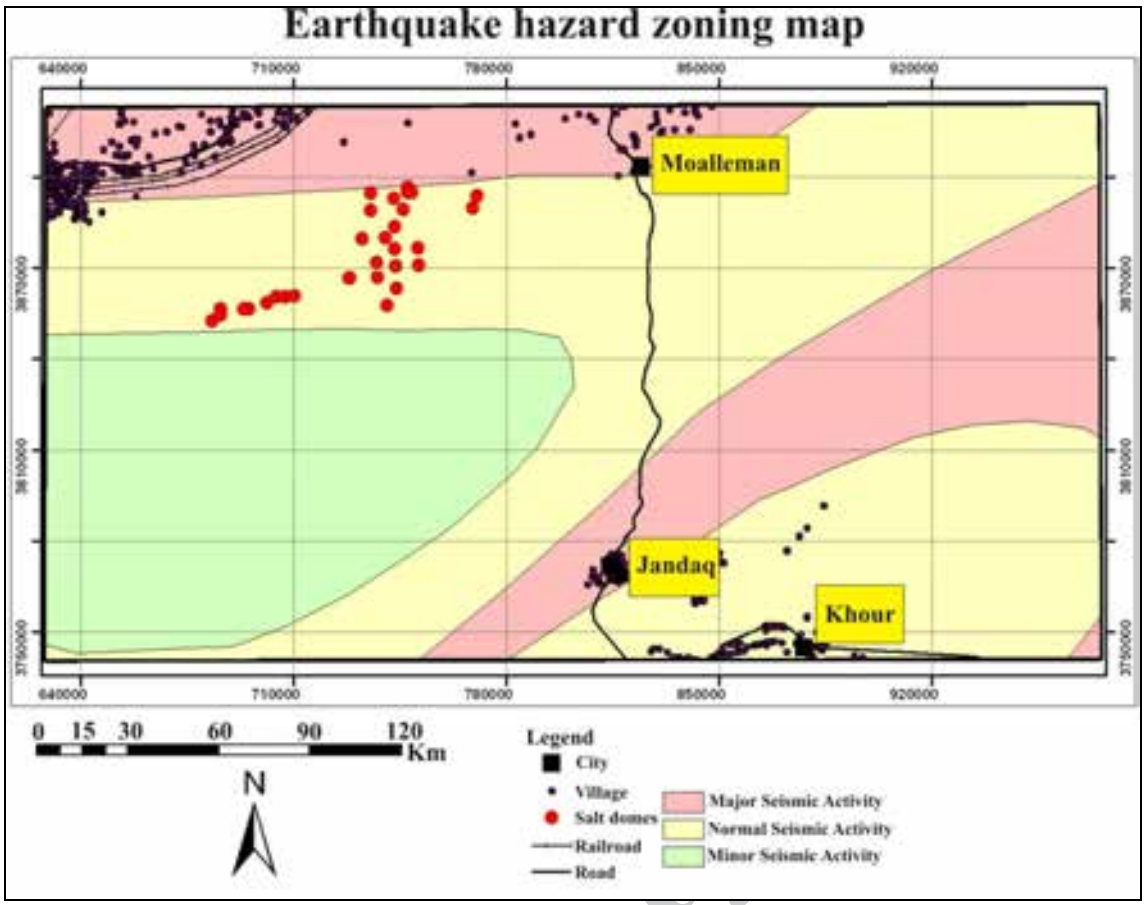


تصویر ۱۳- مقطع عرضی نهشته‌های غرب سمنان تا شرق کوه گوگرد که بیانگر ریشه‌های عمیق گنبدهای نمکی می‌باشد



تصویر ۱۴- موقعیت گنبدهای نمکی بر روی نقشه گسلی منطقه مورد مطالعه

www.SID.ir



تصویر ۱۵- پهنه‌های لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه که در آن گنبدهای نمکی در پهنه با خطر نسبی متوسط قرار دارند

۵- نتیجه گیری

با توجه به بررسی مختصر از منطقه و ساختارهای آن می توان بر اساس معیارهای استاندارد و کلیدی که در انتخاب هر سایت ذخیره سازی مطرح است، تصمیم گیری نمود.

پارامترهای مثبت محدوده مورد مطالعه شامل ۱- مجاورت به نواحی مسکونی پرتراکم و نزدیکی راه‌های منطقه، ۲- وجود یا استفاده آینده از امکانات نزدیک به سایت، ۳- امکان تخلیه راحت شورابه، به دلیل لیتولوژی خاص منطقه، ٤- توپوگرافی خاص و زهکشی محلی و ناحیه‌ای، ٥- مجاورت به زمین‌های حاصلخیز یا آبهای سطحی، ٦- مجاورت نسبت به فعالیت زیرزمینی دیگر و ۷- دسترسی به یک منبع آب تازه مناسب، می باشد.

با توجه به این بررسی، می توان به ساختارهای منطقه مورد مطالعه به عنوان گزینه‌ای مناسب جهت بررسی بیشتر و تأسیس سایت‌های ذخیره سازی گاز طبیعی و رفع مشکلات چندین ساله کشور در اوج مصرف گاز طبیعی، به خصوص در فصول سرد سال و نیز توزیع مناسب سوخت توجه داشت. لزوم انجام مطالعات تکمیلی در این زمینه امری بدیهی است.

مراجع

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳، "زمین‌شناسی ایران"، *انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ اول، ٦٩٧ ص.*

احتشام‌زاده افشار، م.، ۱۳٦۹، "گنبدهای ترکیبی نمک جنوب سمنان(کویر نمک) و مکانیسم تشکیل آنها"، *مجموعه مقالات سمپوزیوم دیاپیریسم با نگرشی ویژه به ایران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۲۰ص.*

پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور، ۱۳۸۸، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱/۰۰۰/۰۰۰ ایران".

تکین، م.، ۱۳۵۹، "توضیحاتی درباره هیدروکربورها در توده‌های نمکی و امکانات نواحی سراجه و البرز"، *مرکز پژوهش و توسعه منابع انرژی، شرکت ملی نفت ایران، ۱۸ ص.*

رازانی، م. و احمدی، م.، ۱۳۸۹، "مقایسه روش‌های مختلف ذخیره سازی گاز در فضاهای زیرزمینی"، *پنجمین همایش ملی زمین‌شناسی و محیط زیست، ۱٦ اسفند ۱۳۸۹، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.*

ساکت، ع.، ۱۳۸٤، "گنبدهای نمکی"، *انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، جلد ۱و۲، ۹۵ ص.*

شریعتی نیا، ز.، ۱۳۸۳، "مطالعه محیط رسوبی و پتروگرافی تبخیری جنوب سمنان، معدن نمک ملحه"، *پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران، ۱۱۲ص.*

Archive of SID
www.SID.ir

علوی، ف.، ۱۳۸۲، "مطالعات ذخیره سازی زیرزمینی گاز طبیعی درون گنبد نمکی سمنان- ایوانکی"، *پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ۱۴۳ص.*

کنگی، ع.، ۱۳۸٦، "تکامل درزه‌ها در رسوبات گروه شمشک منطقه طزره"، *فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی زاهدان، سال سوم،شماره۲، ۱٦ص.*

مریدی، ع.، ۱۳٦۹، "بررسی دیاپیریسم گنبد نمکی جنوب سمنان(حاشیه شمالی کویر ایران مرکزی)"، *پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، تهران، ۱۲۷ص.*

مطیعی، ه.، ۱۳۷٤، "زمین‌شناسی نفت زاگرس"، *انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، جلد ۱و۲، ۱۰۰۹ ص.*

مؤید، م. و قادرزاده، ح.، ۱۳۸٤، "نقدی بر نظریه فرورانش پرکامبرین ایران مرکزی"، *فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی دانشگاه آزاد اسلامی زاهدان، سال دوم، شماره ۱، ۱۲ص.*

Allen, K., 1972, "Eminence Dome- Natural gas storage in salt domes of age", *Journal of petroleum technology, Vol. 24 (11): 1299-1301.*

Ambraseys, N. N. & Melville, C. P. 1982, "A history of Persian earthquakes", *Cambridge University Press, Cambridge, 219 pp.*

Berberian, M., 1981, "Active faulting and tectonics of Iran", *In: Gupta, H. K., Delany, F. M. (eds), Zagros Hindukush Himalaya Geodynamic Evolution: Geodynamic Series, Vol.3. American Geophysical Union, Washington D.C, and Geological Society of America, Boulder, CO: 33-69.*

Berberian, M., 1981, "Active faulting and tectonics of Iran, in Zagros, Hindu Kush, Himalaya: Geodynamic Evolution", *In: Gupta, H. K. & Delany, F. M, Geodyn. Ser., Vol. 3: 33–69.*

Berest, P. & Brouard, B., 2003, "Safety of salt caverns used for underground gas storage", *Oil & Gas Science and Technology, Vol. 58: 361- 384.*

Berest, P., Brouard, B. & Durup, J. G., 2001, "Tightness tests in salt cavern wells", *Oil & Gas Science and Technology, Vol. 56: 451- 469.*

Byrnes, A. P. & D. Young, 2004, "Geologic factors controlling natural gas migration from the yaggi underground gas storage site", *AAPG Annual Meeting, Dallas, Texas: 525-549.*

Energy Information Administration, 2002, "EIA GIS-NG, geographic information system, Underground Storage Database", *Washington, D.C, Department of Energy, 12 pp.*

Energy Information Administration (EIA), 2004, "Basics of underground natural Gas storage", *Washington, D.C, Department of Energy, 8 pp.*

Evans, D. J. & Chadwick, R. A., 2009, "Underground gas storage: An introduction and UK perspective", *British geological survey, Nottingham, 13 pp.*

Han, G., Bruno, M., Loa, K. & Young, J., 2006, "Gas storage and operations in single bedded salt caverns: Stability analysis", *Society of Petroleum Engineering (SPE) Gas Technology Symposium, Calgary, Alberta, Canada, 10 pp.*

Havard, J. & French, R. 2009, "The importance of gas storage to the UK", *Energy Markets Unit, The Geological Society, London, 7 pp.*

Hudec, M. R. & Jackson, M. P. A. 2007, "Terra infirma: Understanding salt tectonics", *Journal of Earth Science, Elsevier Publication, 28 pp.*

Jackson, M. P. A., Cornelius, R. R. Craig, C. H., Gansser, A., Stocklin, J. & Talbot, C. J., 1990, "Salt diapers of the great Kavir, Central Iran", *Geological Society of America Memoirs, 177 pp.*

Katz, D. L. & Lee, R. L., 1990, "Natural gas engineering production and storage", *Mc Grew-Hill International Edition, 248 pp.*

Knott, T., 2003, "With a pinch of salt", *Oil Online, Wednesday, available at: http://www.oilonline.com/new /features/oe/20031203.*

Miyazaki, B., 2009, "Well integrity: An overlooked source of risk and liability for underground natural gas storage", *Innovator International, California, USA, 10 pp.*

Nettleton, L. L., 1934, "Fluid mechanism of salt domes", *AAPG Bulletin, Vol. 18: 1175-1204.*

Nowroozi, A. A. & Ahmadi, G., 1986, "Analysis of earthquake risk in Iran based on seismotectonic provinces", *Tectonophysics, Vol. 122 (1-2): 89-114.*

Plaat, H., 2009, "Underground gas storage: Why and how", *HP Petroleum Engineering Services, Netherlands, 15 pp.*

Rahimpour-Bonab, H., Shariatinia, Z. & M. G. Siemann, 2007, "Role of rifting in evaporate deposition in the Great Kavir Basin, Central Iran", *Geological Society, London, Special Publications, Vol. 285: 69-85.*

Talbot, C. J., Ronnlund, P., Schmeling, H., Koyi, H. & Jackson, M. P. A., 1991, "Diapiric spoke patterns", *Tectonophysics, Vol. 188: 187-201.*

Tenthorey, E., Nguyen, D. & Vidal- Gilbert, S., 2011, "Applying underground gas storage experience to geological carbon dioxide storage: A case study from Australia's Otway Basin", *Energy Procedia, Vol. 4: 5534-5540.*

Thoms, R. L. & Gehle, R. M., 2000, "A brief history of salt cavern use", *Proceeding of 8th World Salt Symposium, Part 1, Elservier B.V: 207-214.*

Tomasko, D., Elcock, D., Veil, J. & Caudle, D., 1997, "Risk analysis for disposing nonhazardous oil field wastes in salt caverns", *Report prepared for U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy under Contract W-31-109-ENG-38, Argonne National Laboratory, University of Chicago, 32 pp.*

Zlender, B. & Kravanja, S., 2011, "Cost optimization of the underground gas storage", *Engineering Structures, Vol. 33: 2554-2562.*

Archive of SID

www.SID.ir