پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال هفتم، شماره ۴، بهار ۱۳۹۸
صص. ۲۱۳-۱۹۷

بررسی جهت رخنمون و تغییرات مورفومتری گنبدهای نمکی سری هرمز در سطوح میزبان

پیمان محمدی‌احمدمحمودی*- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه هرمزگان.
فرشاد نعمتی- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه هرمزگان.
مرضیه سهرابی مفرد- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه هرمزگان.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۱۰ تائید نهایی: ۱۳۹۷/۱۰/۱۲

چکیده

گنبدهای نمکی سازند هرمز در محدوده وسیعی از جنوب و جنوب غرب ایران، خلیج‌فارس و سرزمین‌های شرقی عربستان رخنمون یافته‌اند. این گنبدها در موقعیت‌های گوناگونی همچون واحدهای خشکی (زاگرس) و آبی (خلیج‌فارس)، سطوح رو رانده و مرتفع، سطوح پست و دشتی و مجاورت با گسل‌های اصلی و پی‌سنگی قرارگرفته‌اند که این عوامل باعث تغییراتی در شکل، مساحت، ارتفاع و جهت رخنمون آن‌ها شده است. هدف از این پژوهش بررسی رفتار مورفومتری گنبدهای نمکی سری هرمز در سطوح میزبان محل رخنمون و بررسی جهت رخنمون آنها است. در این پژوهش با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده OLI و لایه رقومی ارتفاع (DEM) اقدام به شناسایی موقعیت گنبدهای نمکی و رقومی سازی محدوده رخنمون گنبدها و سپس استخراج پارامترهای مورفومتری (گردشدگی، مساحت و ارتفاع) با استفاده از نرم‌افزارArc GIS شد. جهت بررسی پارامترهای مورفومتری در طبقات ارتفاعی، اقدام به طبقه‌بندی DEM محل رخنمون گنبدها شد و جهت بررسی جهت رخنمون، نمودار Trend برای کلیه‌ی گنبدها ترسیم گردید. نتایج نشان می‌دهد که به‌طورکلی پارامترهای گردشدگی و مساحت گنبدهای نمکی در تضاد با ارتفاع آن‌ها قرار دارد به‌گونه‌ای که با افزایش ارتفاع سطح میزبان، ارتفاع گنبدها افزایش پیدا می‌کند و از مساحت و گردشدگی آن‌ها کاسته می‌شود، طوری که گردترین گنبدهای نمکی در محدوده خلیج‌فارس با میانگین گردشگی۱/۱۷، پهناورترین گنبدهای نمکی در محدوده ناودیس و دشت‌ها با میانگین مساحت۳۶/۶ کیلومتر مربع و مرتفع‌ترین گنبدها در سطوح روراندگی و طاقدیس‌ها با میانگین ارتفاع۱۶۶۳ متر از سطح دریا قرار دارند. نتایج حاصل از بررسی جهت رخنمون گنبدهای نمکی نشان می‌دهد که گنبدهای نمکی سری هرمز دارای دو جهت رخنمون اصلی هستند، گنبدهایی که بالاتر از گسل‌های جهرم، فسا و در ناحیه زاگرس مرتفع و کنار گسل کازرون قرار دارند، با جهت شمال باختری- جنوب خاوری رخنمون پیداکرده‌اند و گسل‌هایی که پایین‌تر از گسل‌های جهرم و فسا، در ناحیه زاگرس چین‌خورده و خلیج‌فارس قرار دارند به تبعیت از گسل‌های پی‌سنگی دارای جهت رخنمون شمال شرق- جنوب غرب هستند.

واژگان کلیدی: مورفوتکتونیک، اختلاف چگالی نمک، سازند هرمز، خلیج‌فارس، زاگرس.

---

* نویسنده مسئول: E-mail: Geostudy.1371@yahoo.com

مقدمه

گنبدهای نمکی از عناصر مورفوتکتونیک ایران محسوب می‌شوند که عملکرد آن‌ها به‌صورت محلی و موضعی بوده و در چشم‌انداز ژئومورفولوژی ایران نقش برجسته‌ای یافته‌اند (علایی طالقانی، ۱۳۸۸: ۵۸). ساختار گنبدهای نمکی عبارت است از یک هسته مرکزی نمک به ضخامت دو تا سه کیلومتر و رسوبات سطحی و حاشیه‌ای آن (جکسون[۱] و بیتس[۲]، ۱۹۹۷: ۷۶۹ جهانی، ۱۳۹۰: ۲). گنبدهای نمکی دارای استفاده‌های زیادی در زمینه معدنی و صنعتی هستند، از کاربردهای مهم گنبدهای نمکی استفاده جهت ذخیره‌سازی گاز طبیعی (کاسبی و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۷) و دفن زباله‌های صنعتی مواد رادیواکتیو است (هانسون[۳] و لای[۴]، ۲۰۱۱: ۱۱۱). علاوه بر استفاده‌های صنعتی، معدنی و توریستی گنبدهای نمکی، یکی از منابع و عوامل آلودگی آب‌وخاک در ایران محسوب می‌شوند. سه ناحیه فیزیوگرافی–تکتونیکی در ایران دارای گنبد نمکی است: واحد زاگرس، خلیج‌فارس و واحد ایران مرکزی (آریان و نوروز پور[۵]، ۲۰۱۵: ۶۲). گنبدها و توده‌های نمکی ایران از نظر زمان تشکیل به دو زمان دور از هم مربوط می‌باشند. یکی در بخش جنوب شرق زاگرس، یعنی زاگرس فارس و زاگرس مرتفع می‌باشد که منشأ آن‌ها حوضه تبخیری هرمز در پرکامبرین و اوایل پالئوزوئیک و گروه دیگر از این نوع ناهمواری مربوط به رسوب‌های تبخیری میوسن می‌باشد (جداری عیوضی،۱۳۷۴: ۵۶). طبق نظریات دانشمندان علوم زمین، منطقه حدفاصل بین گسل‌های قطر، کازرون، خط عمان و روراندگی زاگرس در پرکامبرین از رسوبات تبخیری گچ و نمک انباشته‌شده است که وجود این رسوبات و رسوبات زیرین ژنوسنکلینال زاگرس، در نحوه چین‌خوردگی بعدی بسیار مؤثر بوده است (عفیفی و کردوانی به نقل از احمدزاده هروی و همکاران،۱۳۸۷:۵۶). پیرامون رخنمون گنبدهای نمکی در سطح زمین با توجه به موقعیت چینه‌شناسی آن‌ها نظریات گوناگونی ارائه‌شده است؛ ۱– نظریه رومانیایی که عامل به حرکت درآمدن نمک‌ها را چگالی کم آن و فعالیت تکتونیکی می‌داند، ۲–نظریه کرانه مکزیک که دلیل اصلی حرکت رو به بالای نمک را نیروی هیدرو استاتیک می‌داند، بدان معنی که چنانچه بار روی نمک‌ها به‌اندازه کافی برسد، سنگ به‌صورت خمیری با گرانروی کم به سمت بالا حرکت کند و ۳– فرضیه آتش‌فشانی که منشأ بالا آمدن گنبدهای نمکی را فعالیت آتش‌فشان می‌داند (حجتی، ۱۳۷۷: ۵). گنبدهای نمکی زاگرس که با نام گنبدهای نمکی سری هرمز یا سازند هرمز از دیگر گنبدهای نمکی ایران متمایز می‌شوند ازلحاظ موقعیت چینه‌شناسی در قاعده چینه نگاری محل رخنمون خود قرار دارند. در بیان علل رخنمون گنبدهای نمکی ایران و به‌ویژه گنبدهای نمکی زاگرس می‌توان اختلاف چگالی بین توده‌های نمکی و سنگ‌های اطراف و همچنین نیروهای تکتونیکی را مؤثر دانست (معیری و احمدی‌نژاد، ۱۳۸۵: ۳۹). علی‌رغم تعلق داشتن تمامی گنبدهای نمکی سازند هرمز به یک اشکوب زمانی و دخیل بودن دو عامل تکتونیک و اختلاف چگالی در فرآیند دیاپریسم گنبدها، این گنبدها ازلحاظ پارامترهای مورفومتری، جهت رخنمون و مورفولوژی دارای اختلاف‌های بارزی هستند. با توجه به علل یا عوامل رخنمون گنبدهای نمکی و کشیدگی آن‌ها از قاعده چینه‌شناسی به سمت بالا در محدوده خلیج‌فارس و زاگرس، عوامل زیادی را می‌توان در تشریح ویژگی‌های مورفومتری گنبدهای نمکی مؤثر دانست؛ تحرکات و دینامیک آب خلیج‌فارس، ضخامت رسوبات رویی سازند هرمز، تحرکات و میزان فعالیت گسل‌ها، سفتی و سستی رسوبات رویی، میزان نمک انباشته در هسته گنبدهای نمکی، تقدم و تأخیر در زمان بالاآمدگی، تأثیرات اقلیمی و عوامل محلی دیگر همگی در ویژگی‌های مورفومتریک و فرم‌های توسعه‌یافته در سطح گنبدها و پلاگ‌های نمکی حاصل از سازند هرمز در سرزمین‌های شرقی عربستان، خلیج‌فارس و محدوده زاگرس تأثیر داشته و باعث به وجود آمدن اختلافات در ویژگی‌های مورفومتریک و

---

۱ Jackson

۲ Bates

۳ Hansen

۴ Leigh

۵ Arian & Noroozpour

فرم‌های توسعه‌یافته در سطح گنبدها و پلاژهای نمکی شده است. هدف از این پژوهش بررسی رفتار مورفومتری (مساحت، ارتفاع و گردشدگی) گنبدهای نمکی سری هرمز در طبقات ارتفاعی محدوده زاگرس، چین میزبان و واحدهای خشکی و آبی و همچنین بررسی جهت رخنمون گنبدهای نمکی است.

پیشینه

برای اولـین بـار در ایـران مطالعـات بـر روی گنبـد نمکی جزیره هرمز توسط اشتوکلین[۱] (۱۹۶۸) انجام شد از این‌رو این سازند در جنوب ایران تحت عنوان سازند هرمز نام‌گذاری شده است، مطالعات بعدی روی گنبدهای نمکی توسط زمین شناسان ازجمله نیکز[۲]، پیلگریم[۳]، کارل‌جرسی[۴]، ریچاردسون[۵]، دوبوخ[۶]، گانـسر[۷]، اشـتوکلین[۸]، کنـت[۹]، نبوی و دکتر سبزه‌ای انجام‌شده است (معیری و احمدی‌نژاد ۱۳۸۵: ۳۵). جهانی[۱۰] و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی با عنوان دیاپریسم نمک در زاگرس، اقدام به تیپ بندی گنبدهای نمکی زاگرس بر اساس مورفولوژی گنبدهای نمکی کردند. آن‌ها گنبدهای نمکی را در شش گروه بر اساس مورفولوژی سطحی قراردادند و مورفولوژی گنبدهای نمکی را بر اساس تحولات ژئودینامیک گنبدهای نمکی تحلیل کردند. کلارینگبولد[۱۱] و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی و تشریح رخنمون و تکامل گنبد نمکی جبل مادر در کشور عمان به تأثیر از نیروهای تکتونیکی پرداختند و رخنمون و تکامل گنبدهای نمکی سری هرمز را با تحولات گسل‌ها در سه مرحله تبیین کردند. عبدالمالکی[۱۲] و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های رقومی SAR[۱۳] به بررسی جابجایی و تحرکات گنبد نمکی قم، در سری زمانی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که دیاپر نمک در قم کوه فعال و تورم از طریق اکستروژن نمک از زیرزمین، احتمالاً به میزان ثابت است. توماس[۱۴] و همکاران (۲۰۱۵) ویژگی‌های سنگ‌شناسی، رسوب‌شناسی گنبدهای نمکی امارات و عمان در شرق عربستان و حاشیه خلیج‌فارس را موردمطالعه قراردادند و آن‌ها را حاصل فرآیند دیاپریسم سازند هرمز دانسته‌اند. کارتر[۱۵] و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به بررسی تأثیرات گنبدهای نمکی بر توسعه و تکامل کانال زیردریایی شمال خلیج مکزیک با استفاده از داده‌های لرزه‌ای و تکنیک‌های ژئومورفولوژی رودخانه پرداخته. نتایج آن‌ها نشان داد که جابه‌جایی گنبدهای نمکی در تکامل کانال نقش داشته و در هنگام رشد سریع آن‌ها شاخص مئاندری کانال کاهش داشته و با کاهش رشد گنبدها در پلیئستوسن کانال زیردریایی به حالت تعادل رسیده است. شفیق[۱۶] و همکاران (۲۰۱۷) اقدام به آشکارسازی گنبدهای نمکی در حجم لرزه‌ای مهاجرت با استفاده از روش همگرایی فازی [۱۷]در خلیج مکزیک کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که روش همگرایی فازی گنبدهای نمکی را در محدوده‌های لرزه‌ای مهاجم به‌طور مؤثر نشان می‌دهد. مرتضوی[۱۸] و همکاران (۲۰۱۷) در

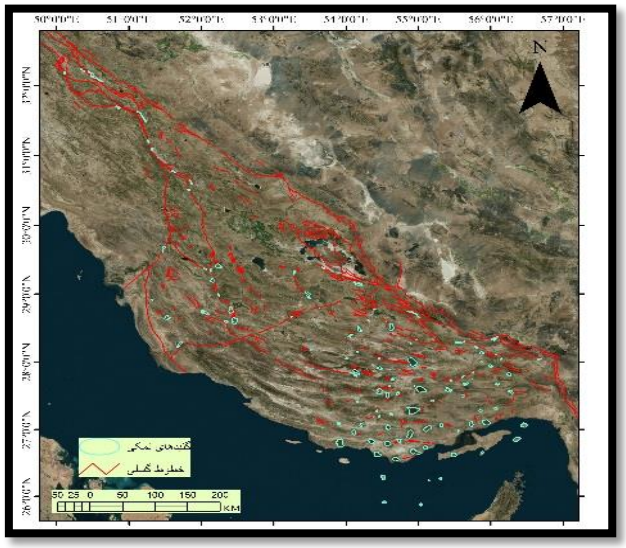
---

[1] Stoecklin
[2] Nicaise
[3] Pilgrim
[4] Carl Gersy
[5] Richardson
[6] H.De.Boech
[7] Gansser
[8] Stocklein
[9] Kent
[10] Jahani
[11] Clarinuldgbo
[12] Abdolmaleki
[13] Synthetic-aperture radar
[14] Thomas
[15] Carter
[16] Shafiq
[17] Phase congruency
[۱۸] Mortazavi

بررسی سیستم‌های هیدروترمال گنبدهای نمکی سری هرمز دریافتند که رشد آمفیبول آبی در رگه‌های سنگ‌های تغییریافته نشان‌دهنده تعامل شدیدی از مایعات هیدروترمال با سنگ‌های میزبان در دیاپیر های نمکی است. پاژنگ و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعات خود بر روی گنبدهای نمکی سازند هرمز با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری در محدوده تنگه هرمز و خلیج‌فارس اقدام به شناسایی ۱۷ گنبد نمکی مدفون و رخنمون یافته از مجموع گنبدهای سری هرمز کردند. مهرابی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نرم افزار Arc GIS اقدام به شناسایی خطواره‌های گسلی در محدوده زاگرس اقدام کردند و تمامی گنبدهای نمکی محدوده زاگرس را رخنمون یافته در کنار ۳۴ خطواره گسلی دانستند. نائینی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از سه روش تک‌بعدی، حجمی و سطحی اقدام به بررسی و مطالعه مورفومتری گنبد نمکی قم کردند. رجبی و شیری طرزم (۱۳۹۳) در بررسی تطبیقی ویژگی‌های کمی گنبدهای نمکی طاقدیسی و ناودیسی شمال غرب ایران اقدام به محاسبه پارامترهای مورفومتری گنبدها شامل؛ ضریب کشیدگی، ضریب افراشتگی، ارتفاع نسبی، مساحت، محیط، دایره‌واری و فاصله گنبدها از گسل‌ها کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که در کل گنبدهای نمکی داخل ناودیس‌ها نسبت به گنبدهای نمکی داخل طاقدیس دارای مساحت، ارتفاع و دایره‌واری کمتر، اما دارای ضریب کشیدگی و ضریب برافراشتگی بیشتری می‌باشند. گنبدهای داخل ناودیس‌ها یا روی گسل‌ها یا در فاصله کمی از گسل‌ها و اکثراً در جبهه کوهستان‌ها قرار دارند، درحالی‌که گنبدهای داخل طاقدیس‌ها در فاصله بیشتری نسبت به گسل‌ها قرار دارند. افشاری و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری اقدام به پایش رشد و گسترش سالیانه گنبد نمکی گچین به‌منظور برآورد شدت فعالیت آن کردند. نتایج پژوهش آن‌ها حاکی از فعال بودن فرآیند دیاپریسم نمک در گنبد نمکی گچین و بالاآمدگی گنبد نمکی در سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۶ و ۲۰۱۰-۲۰۰۹ و فرورفتگی آن در سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۷ است. مهدوی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل الکتره گنبدهای نمکی جنوب غرب هرمزگان را برای دفن پسماندهای اتمی اولویت‌بندی کردند و دریافتند که گنبد نمکی گچین، مناسب‌ترین گنبد نمکی در استان هرمزگان به‌منظور دفع پسماندهای اتمی است.

محدوده مطالعاتی

مطابق شکل ۱، حدفاصل گسل میناب، راندگی اصلی زاگرس، گسل کازرون و جزایر گنبدی خلیج‌فارس ۱۲۲ گنبد نمکی بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ شناسایی‌شده که مرز شمالی آن تا زاگرس بختیاری در حوالی کوهرنگ می‌رسد و به‌طورکلی سه محدوده را شامل می‌شوند:۱-تجمع گاه فارس، هرمزگان و خلیج‌فارس که فواصل گنبدها به هم نزدیک بوده ۲-گنبدهای نمکی حاشیه گسل کازرون و بوشهر که در خط‌السیر گسل‌ها قرار دارند و یک تجمع گاه محسوب می‌شوند ۳-گنبدهای کشیده در امتداد گسل‌ها که در ادامه گسل کازرون و روراندگی‌های زاگرس مرتفع تا حوالی زرد کوه در کوهرنگ گسترش‌یافته‌اند.



شکل۱: گنبدهای نمکی رقومی شده سری هرمز قابل‌تشخیص در نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰چاپ سازمان زمین‌شناسی کشور موقعیت ۱۲۲ گنبد نمکی متعلق به سازند هرمز در محدوده زاگرس و خلیج‌فارس شناسایی شد، سپس محدوده سازند در نرم‌افزار Arc GIS به‌صورت دستی رقومی شد. جهت تطبیق و کاهش خطای مرز رقومی شده موقعیت گنبدهای رقومی شده با تصاویر ماهواره‌ای سنجنده OLI مستقر بر روی ماهواره لندست۸ که از طریق افزونه ArcBruTile به نرم‌افزارArc GIS فراخوانی شدند تطبیق و اصلاح شدند. در مرحله بعد اقدام به تفکیک محدوده مطالعاتی به واحدهای خشکی و آبی (خلیج‌فارس) شد. همچنین جهت بررسی پارامترهای مورفومتری همچون ارتفاع و مساحت در پهنه زاگرس با استفاده از لایه رقومی ارتفاعی (DEM) اقدام به طبقه‌بندی محدوده زاگرس بر اساس ویژگی‌های چشم‌انداز و زون‌های ساختاری محدوده زاگرس (زاگرس چین‌خورده و مرتفع) در چهار طبقه ارتفاعی شد.

جهت محاسبه پارامترهای مورفومتری با قرار دادن لایه وکتوری گنبدها بر روی لایه رقومی ارتفاع (SRTM (DEM[۱] که در ابعاد فضایی ۳۰ متر برای کل محدوده زاگرس از درگاه سازمان زمین‌شناسی آمریکا دریافت گردید، ارتفاع هر گنبد نمکی که شامل بالاترین نقطه ارتفاعی گنبد است به دست آمد، سپس مساحت گنبدها نیز توسط نرم‌افزار Arc GIS محاسبه گردید. میزان گردشدگی و انحراف از گردشدگی با استفاده از ضریب فشردگی گراویلیوس که عبارت است از نسبت محیط گنبد (P) به محیط دایره فرضی (P') که مساحت آن برابر با مساحت گنبد باشد (علیزاده، ۱۳۸۱: ۴۸۳)، برای تمامی گنبدها جهت بررسی میزان دواری بودن آن‌ها مطابق رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$C = \frac{P}{P'} = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad (۱)$$

در مرحله اثر شناسی با قرار دادن لایه رقومی گنبدها و پلاک‌های نمکی بر روی مدل رقومی ارتفاع اقدام به تحلیل مساحت و ارتفاع گنبدهای نمکی در ارتباط با محل‌های رخنمون (سطوح آبی، چین‌خوردگی‌ها و ناودیس‌ها) شد. برای بررسی میزان فواصل گنبدهای نمکی از خطوط گسلی که در نقشه ۱:۲۵۰,۰۰۰ قرار دارند، اقدام به تهیه نقشه حریم گسل در فواصل ۱،

[۱] Near

۲، ۴، ۸ و ۱۵ کیلومتری شد؛ سپس با استفاده از تابع نزدیکی[1] در نرم‌افزار Arc GIS اقدام به برآورد میانگین فاصله گنبدهای نمکی از حریم‌های ذکرشده، شد. در پایان به‌منظور بررسی جهت رخنمون گنبدهای نمکی با استفاده از روش‌های بررسی توزیع داده در زمین‌آمار (Trend Analysis) جهت‌های کلی رخنمون گنبدهای نمکی ترسیم شد.

یافته‌ها

گرد شدگی گنبدهای نمکی

درمجموع ۱۲۲ گنبد نمکی در محدوده زاگرس و خلیج‌فارس از سازند هرمز شناسایی‌شده که ضریب گردشدگی بین ۱ که شکلی نزدیک به دایره کامل تا ۲/۳ که رخنمون‌های کشیده را شامل می‌شود به‌دست‌آمده که بر اساس مشابهت‌ها در شکل، گنبدها به ۶ طبقه، مطابق جدول ۱ طبقه‌بندی‌شده‌اند.

جدول۱: تعداد و ضریب گرد شدگی گنبدهای نمکی سری هرمز

تعداد گنبدها	ضریب گرد شدگی
۲۶	۱
۲۳	۱/۱-۱۵/۱
۱۰	۱/۱-۲/۱۶
۴۴	۱/۱-۵/۳
۱۴	۱/۱-۹/۶
۵	۲/۱-۳/۹۱

با طبقه‌بندی ارتفاعی محدوده رخنمون یافته گنبدها با کمک DEM توزیع این گنبدها در طبقات ارتفاعی در ۴ کلاس، به شرح زیر به‌دست‌آمده:

۱-گنبدهای قرارگرفته در طبقه ارتفاعی ۰ تا ۵۰۰ متر

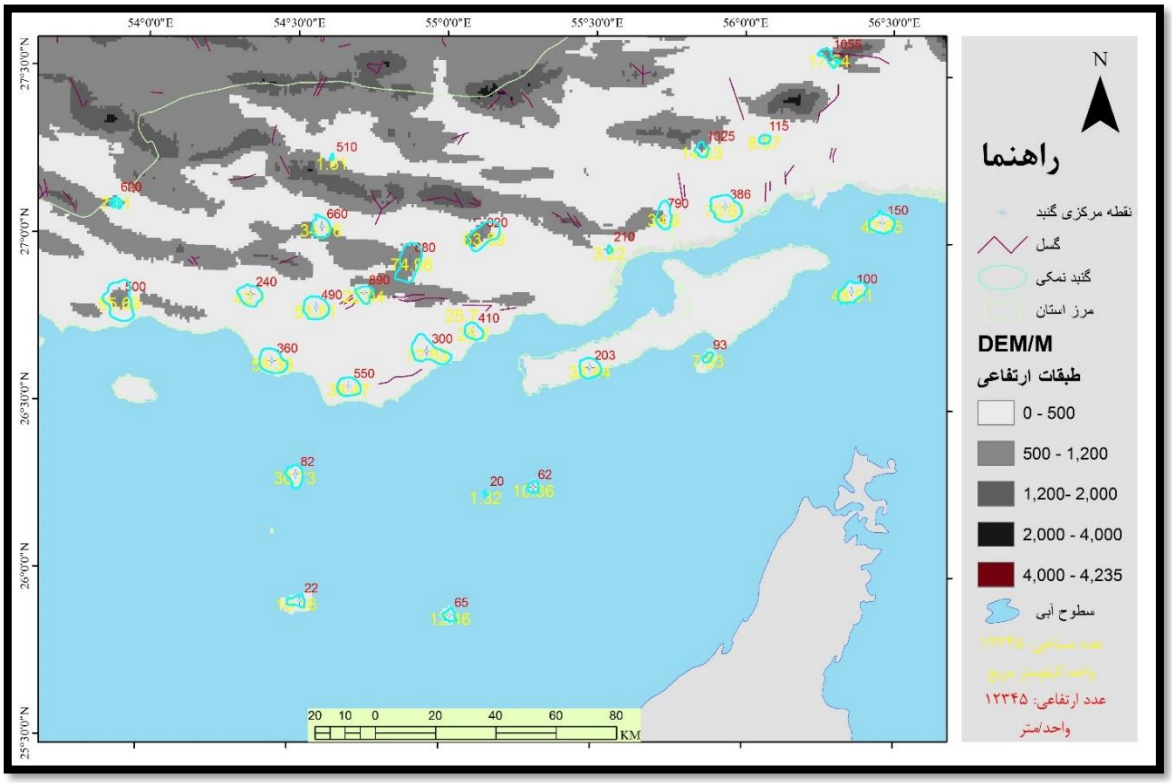
درمجموع حدود ۲۹ گنبد نمکی رخنمون یافته در محدوده سرزمینی ایران و جزایر متعلق به ایران وجود دارد (شکل-۲). توجه به ویژگی‌های مورفومتری گنبدهای این طبقه ارتفاعی (جدول-۲)، نشان می‌دهد که پهناورترین گنبدهای نمکی سری هرمز در این طبقه ارتفاعی قرار دارند و عمدتاً ازلحاظ چین میزبان به‌استثناء گنبدهایی که در محدوده آب هستند، در محدوده پاطاق‌ها و ناودیس‌ها قرار دارند. این گنبدها بیشترین مقدار گردشدگی و شباهت به شکل دایره را نسبت به سایر گنبدهای نمکی دارا هستند، همچنین کمترین ارتفاع را نسبت به سایر گنبدها و پلاگ‌های سری هرمز دارا هستند و در محدوده آبی (خلیج‌فارس) تحت تأثیر دینامیک امواج دچار فرسایش می‌شوند. گنبدهایی که در این طبقه ارتفاعی قرار می‌گیرند بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی و حریم گسل مجاورت چندانی را با گسل‌های اصلی و یا محلی نشان نمی‌دهند (شکل-۳ و جدول-۳) که این عامل می‌تواند به دلیل پنهان و مدفون شدن گسل‌های پی‌سنگی به سبب رسوبات حاصل از فرسایش چین‌خوردگی‌ها و طاقدیس‌های زاگرس هرمزگان و فارس باشد.

جدول ۲: تعداد و ویژگی‌های مورفومتری گنبدهای نمکی قرارگرفته در دامنه ارتفاعی ۰-۵۰۰ متر

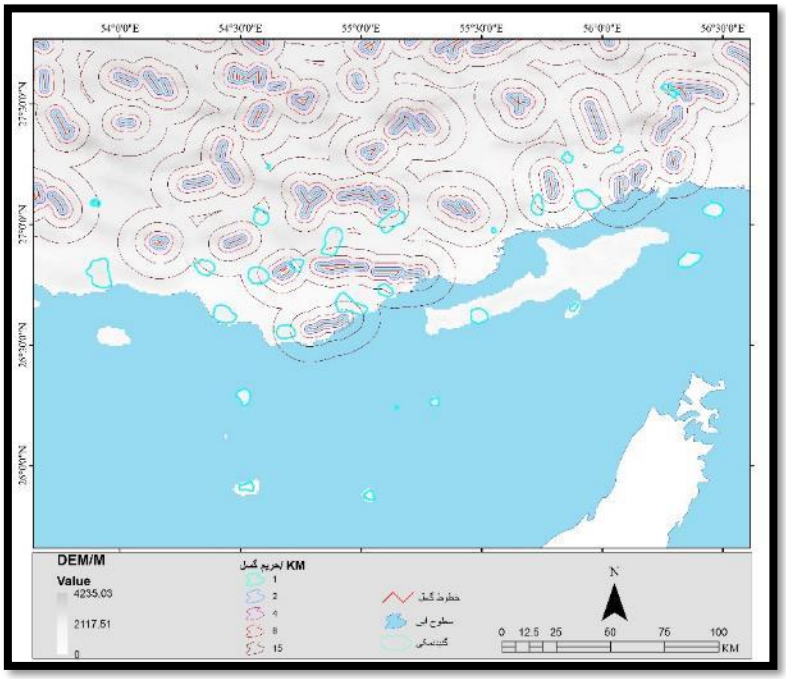
ارتفاع (M)	تعداد	میانگین مساحت (KM^2)	بیشترین مساحت (KM^2)	میانگین ارتفاع (M)	مرتفع ترین گنبد (M)	میانگین گرد شدگی
۰-۵۰۰	۲۹	۳۲/۷	۹۵/۷	۴۲۵/۳	۱۰۵۵	۱/۱۵
۵۰۰-۱۲۰۰	۴۵	۱۹/۶	۱۲۰/۳	۱۱۸۲/۶	۱۹۴۵	۱/۲۹
۱۲۰۰-۲۰۰۰	۲۹	۱۱/۷	۵۱/۵	۱۷۰۳/۴	۲۱۱۰	۱/۳۳
۲۰۰۰-۴۰۰۰	۱۹	۱۱/۵۸	۵۰	۲۵۶۶	۳۲۰۰	۱/۶

جدول ۳: میزان فواصل استخراج‌شده گنبدهای نمکی در دامنه‌های ارتفاعی از حریم گسل‌ها

ارتفاع (M)	فاصله تا حریم ۱ کیلومتری گسل		فاصله تا حریم ۲ کیلومتری گسل		فاصله تا حریم ۴ کیلومتری گسل		فاصله تا حریم ۸ کیلومتری گسل		فاصله تا حریم ۱۵ کیلومتری گسل	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
۰-۵۰۰	۲۲/۳۲	۲۰/۹۵	۲۱/۳۲	۲۰/۹۴	۱۹/۴	۲۰/۸۷	۱۵/۹۱	۲۰	۱۲/۲۱	۱۲/۲۸
۵۰۰-۱۲۰۰	۴/۵	۳/۹	۳/۶۷	۳/۷۲	۲/۵	۳	۱/۷۴	۱/۶	۳/۶۴	۳
۱۲۰۰-۲۰۰۰	۲/۵	۳/۴	۲/۰۶	۳/۱	۱/۸۳	۲/۲۶	۲/۵۲	۱/۷	۶/۱۱	۳/۳۷
۲۰۰۰-۴۰۰۰	۱/۶۹	۲/۱۲	۱/۳	۱/۷۵	۱/۲	۱/۱۶	۲/۸۸	۲/۵۷	۹/۱۶	۵/۲۶



شکل ۲: گنبدهای نمکی رخنمون یافته در محدوده خلیج‌فارس و طبقه ارتفاعی ۰-۵۰۰ متر

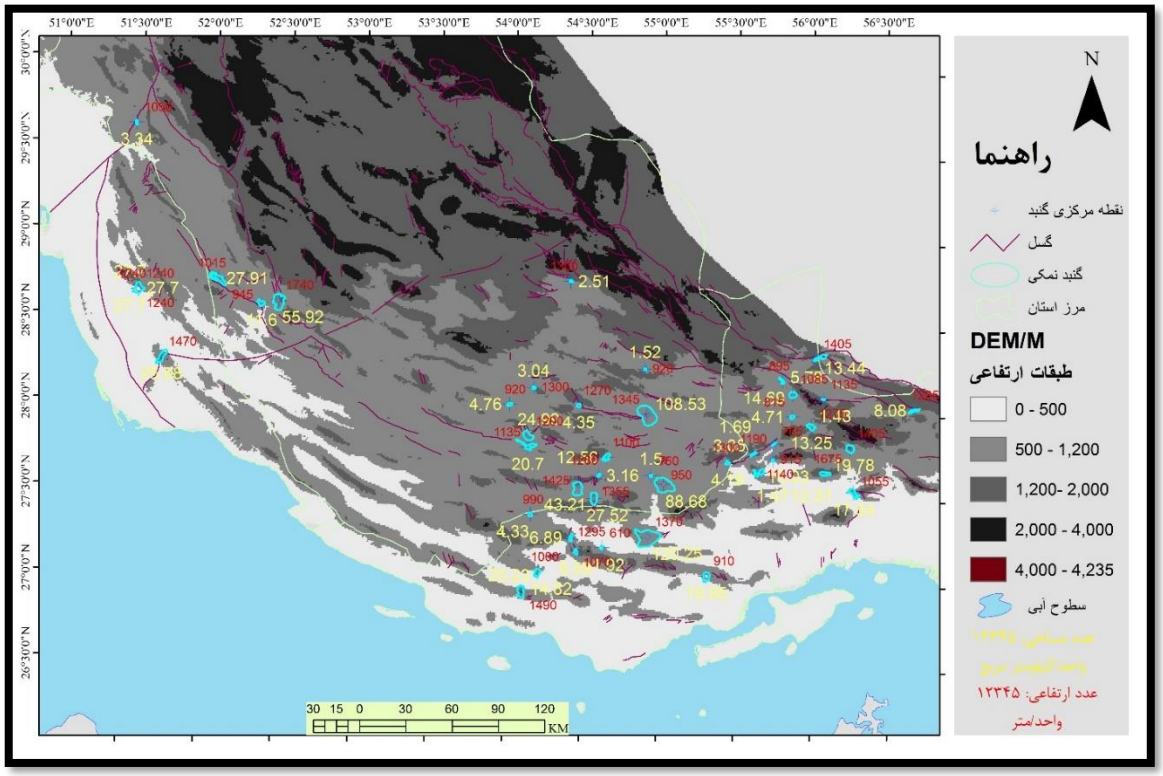


شکل ۳: نقشه حریم گنبدهای قرارگرفته در طبقه ارتفاعی ۰-۵۰۰ متر

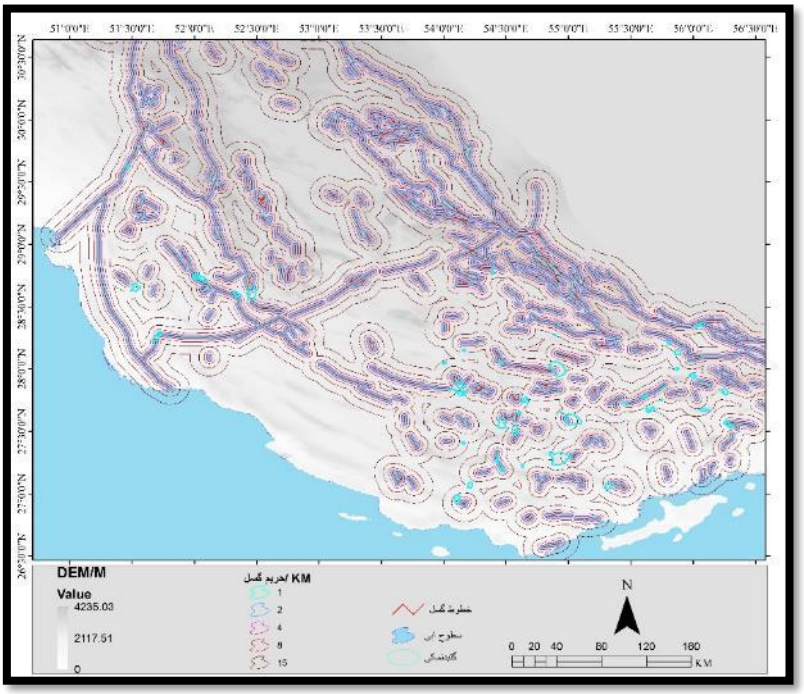
۲-گنبدهای قرارگرفته در طبقه ارتفاعی ۵۰۰ تا ۱۲۰۰ متر

گنبدهای قرارگرفته در این واحد طبقاتی پرشمارترین گنبدهای نمکی رخنمون یافته از سازند هرمز محسوب می‌شوند، محدوده فارس تمرکزگاه رخنمون این گنبدهاست (شکل-۴). این گنبدها ازلحاظ میانگین مساحت، مقدار مساحت کمتر و

ازلحاظ ارتفاعی، مقادیر ارتفاع بیشتری را نسبت به طبقه قبل نشان می‌دهد، همچنین این گنبدها از گردشدگی کمتری نسبت به گنبدهای طبقه ماقبل (۰–۵۰۰) برخوردار هستند (جدول–۲). متمرکزترین محدوده رخنمون این دسته از گنبدهای نمکی در محدوده فارس در دو بخش زاگرس چین‌خورده و رو رانده است، همچنین در مغرب زاگرس فارس و بوشهر، در حوالی گسل‌های اصلی تعدادی از این گنبدها رخنمون یافته است (شکل–۴). ارتباط و نزدیکی این دسته از گنبدها با گسل‌ها نسبت به طبقه قبل بارزتر است، بالأخص در حاشیه گسل‌های اصلی و محدوده رو راندگی زاگرس فارس (جدول–۳). در این طبقه نیز در برخی از مناطق مجاورت بعضی از گنبدها با گسل‌ها مشخص نیست (شکل–۵).



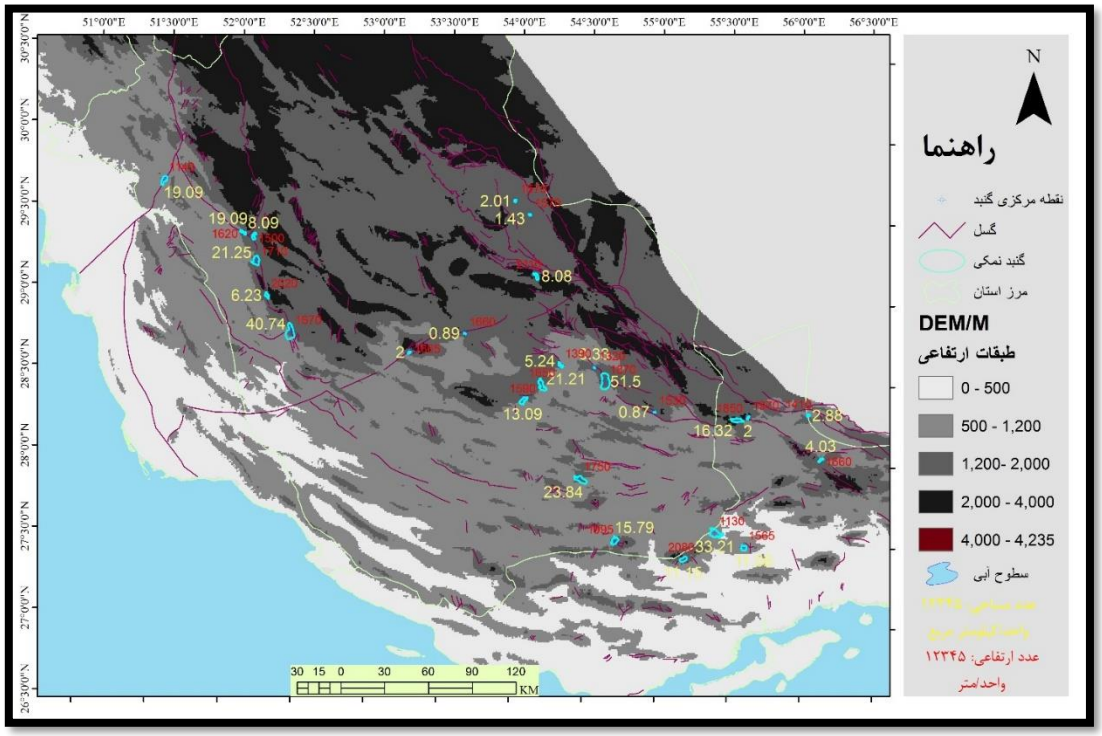
شکل۴: گنبدها و پلاگ‌های نمکی رخنمون یافته در طبقات ارتفاعی ۵۰۰–۱۲۰۰ متر



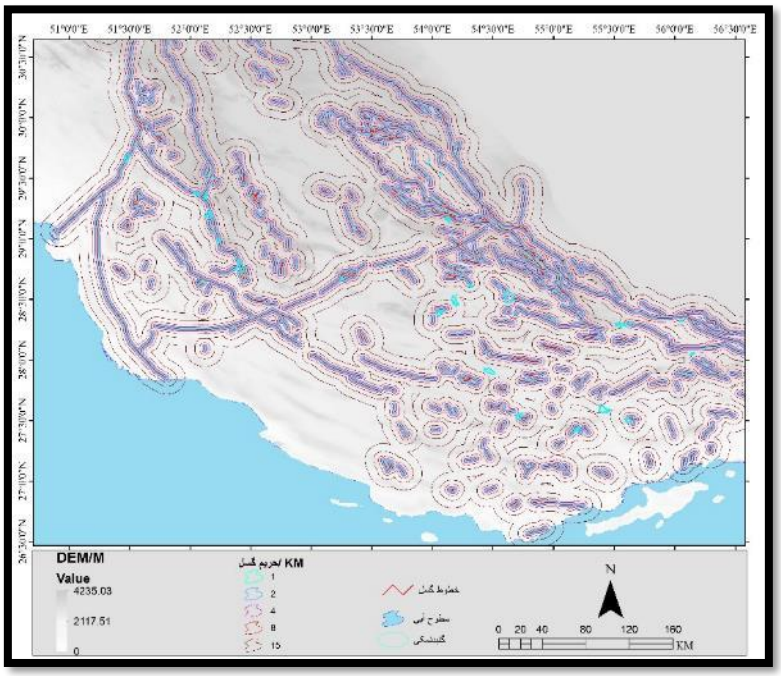
شکل ۵: نقشه حریم گنبدهای قرارگرفته در طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۲۰۰ متر

۳-گنبدهای قرارگرفته در طبقه ارتفاعی ۱۲۰۰ تا ۲۰۰۰ متر

از ویژگی‌های بارز گنبدهای نمکی این طبقه، قرارگیری در کنار گسل‌های اصلی زاگرس شامل: فسا، جهرم، کازرون و کره بس می‌باشد (شکل-۷). این گنبدها نیز عمدتاً در فارس در دو محدوده رو رانده و چین‌خورده قرار دارند با این‌حال کشیدگی و رخنمون آن‌ها تا محدوده کوهرنگ در استان چهارمحال و بختیاری ادامه می‌یابد. از دیگر ویژگی‌های بارز این گنبدها تبعیت از جهت گسل‌های عامل رخنمون آن‌هاست به‌طوری‌که در امتداد این گسل‌ها اغلب ۳ تا ۶ گنبد دیده می‌شود (شکل-۶). گنبدهای این محدوده ازلحاظ تعداد، فراوانی کمتری را نسبت به طبقه ماقبل خود دارا هستند، مساحت آن‌ها کاهش‌یافته و در اثر کشیدگی در امتداد گسل‌های اصلی میزان گردشدگی آن‌ها تقلیل پیداکرده و تنها ارتفاع آن‌ها افزایش پیداکرده است (جدول-۲).



شکل۶: گنبدها و پلاگ‌های نمکی رخنمون یافته در طبقات ارتفاعی ۱۲۰۰-۲۰۰۰ متر

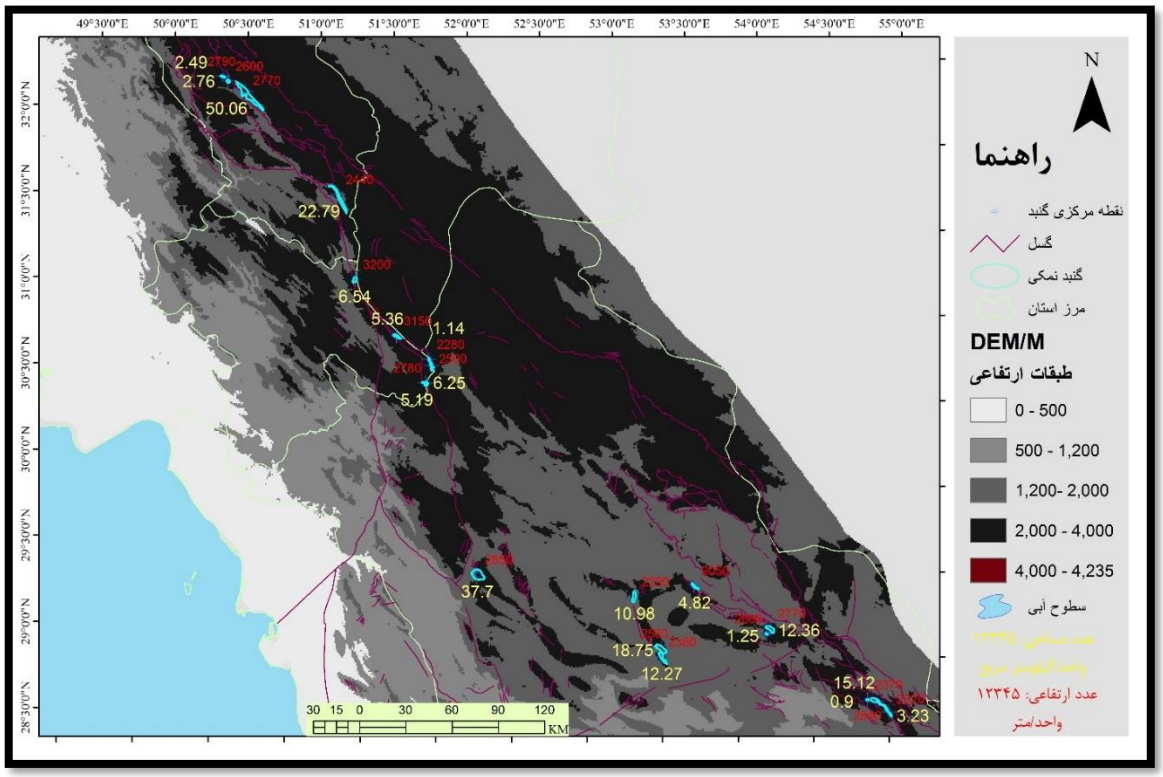


شکل ۷: نقشه حریم گنبدهای قرارگرفته در طبقه ارتفاعی ۱۲۰۰-۲۰۰۰ متر

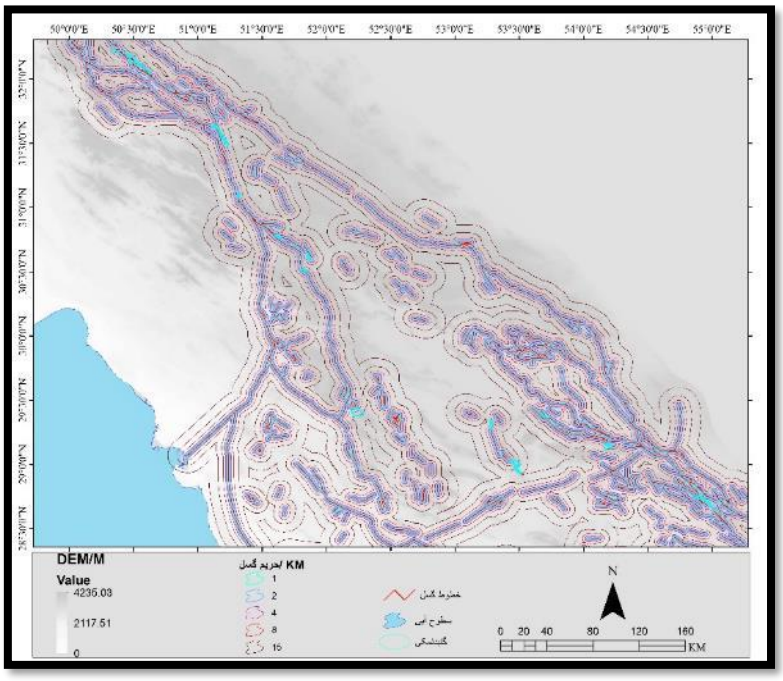
۴-گنبدهای قرارگرفته در طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متر

تمامی گنبدهای نمکی قرارگرفته در این طبقه، در محدوده روراندگی زاگرس و مجاور گسل‌های اصلی و گسل جدید زاگرس قرار دارند (شکل-۹). کم تعدادترین گنبدهای نمکی در این طبقه ارتفاعی قرار دارند، لکن مرتفع‌ترین رخنمون‌های سازندهای تبخیری نیز در همین طبقه قرار دارند و ارتفاع تمامی آنان از ۲۰۰۰ متر بالاتر است (جدول-۲). کشیدگی در

جهت و امتداد گسل‌های اصلی (شکل-۹ و جدول-۳) به‌خوبی ارتباط و نقش گسل‌ها را در رخنمون این گنبدها تبیین می‌کند. مرز انتهایی رخنمون‌های این سازند نیز توسط گنبدهایی مشخص می‌شود که در ناحیه دهنو و سرآقاسید شهرستان کوهرنگ در امتداد روراندگی زاگرس رخنمون یافته‌اند و مورد بهره‌برداری مردم محلی قرار می‌گیرند (شکل- ۸).



شکل۸: گنبدها و پلاگ‌های نمکی رخنمون یافته در طبقات ارتفاعی ۲۰۰۰-۴۰۰۰ متر



شکل ۹: نقشه حریم گنبدهای قرارگرفته در طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰-۴۰۰۰ متر

شکل۱۰: تصویر- الف: عکس دره نمک، برداشت نمک از گنبدهای نمکی سری هرمز؛ دهنو کوهرنگ. ب: برداشت نمک از گنبدهای نمکی در روستای سرآقاسید کوهرنگ- چهارمحال و بختیاری (عکس: امیر قادری).

بررسی پارامترهای مورفومتری گنبدهای نمکی در فرم‌های تکتونیکی و سطوح آبی

بررسی تعداد و پارامترهای مورفومتری گنبدهای نمکی در فرم‌های تکتونیکی نشان می‌دهد که تعداد ۷۲ گنبد نمکی در محدوده طاقدیس‌ها و روراندگی‌ها قرار دارند که کمترین مقدار مساحت را، با میانگین مساحت ۱۰/۸ کیلومترمربع، بیشترین مقدار ضریب گردشدگی را با میانگین ۱/۴ و بیشترین ارتفاع را با میانگین ارتفاعی ۱۶۶۳ متر به خود اختصاص داده‌اند (جدول-۴). در محدوده ناودیس و دشت‌ها تعداد ۳۳ گنبد نمکی رخنمون یافته که بیشترین مقدار مساحت را با ۳۶/۶ کیلومترمربع به خود اختصاص داده‌اند، میزان گردشدگی آنان ۱/۲۶ و میانگین ارتفاع آن‌ها ۱۰۰۰ متر می‌باشد که از این لحاظ حد واسط گنبدهای قرارگرفته در سطح روراندگی- طاقدیس و خلیج‌فارس قرار دارند. تعداد ۱۷ گنبد نمکی در محدوده خلیج‌فارس رخنمون دارند که از این مقدار تعداد ۱۰ گنبد نمکی در حریم آبی ایران قرار دارند (جدول-۴). میانگین مساحت گنبدهای نمکی خلیج‌فارس از مساحت گنبدهای نمکی قرارگرفته در سطح روراندگی‌ها بیشتر و از گنبدهای نمکی سطوح دشتی کمتر است. بیشترین مقدار گردشدگی به میزان ۱/۷۱ متعلق به گنبدهای نمکی محدوده خلیج‌فارس است و کمترین میزان ارتفاع با میانگین ارتفاعی ۸۸/۶ نیز متعلق به این گنبدها است (جدول-۴).

جدول ۴: پارامترهای مورفومتری گنبدهای نمکی گسترش‌یافته در محدوده طاقدیس و رو راندگی‌ها

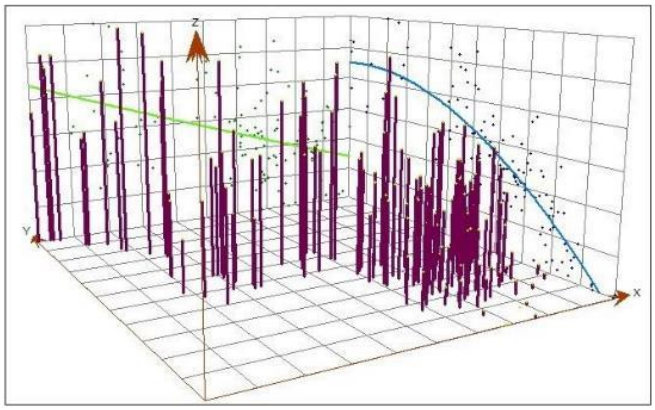
محدوده گسترش	تعداد	میانگین مساحت (KM^2)	کمترین مساحت (KM^2)	بیشترین مساحت (KM^2)	میانگین گردشدگی	میانگین ارتفاع (M)
طاقدیس و رو راندگی ها	۷۲	۱۰/۸	۰/۳۳	۵۱/۵	۱/۴	۱۶۶۳
ناودیس و دشت	۳۳	۳۶/۶	۱/۵	۱۲۰/۳	۱/۲۶	۱۰۰۰/۷۰
خلیج فارس	۱۷	۲۱	۰/۸۷۵	۴۸/۵	۱/۱۷	۸۸/۶

بر اساس پارامترهای محاسبه‌شده در جدول ۴، هر چه از محدوده دریا به سمت خشکی و ارتفاعات برویم ارتفاع گنبدهای نمکی نیز افزایش و گرد شدگی گنبدهای نمکی کاهش پیدا می‌کند. در پارامتر مساحت گنبدهای نمکی، هر چه از مناطق پست به مناطق مرتفع‌تر می‌رویم مساحت گنبدهای نمکی کاهش پیدا می‌کند ولی پهناورترین گنبدهای نمکی در خشکی

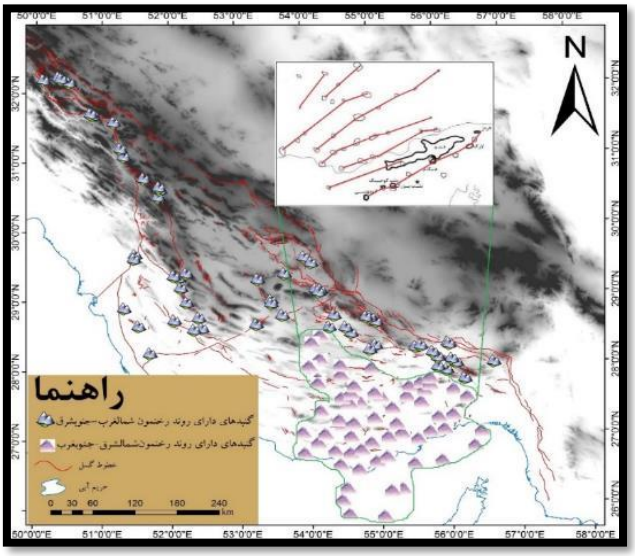
و سطوح دشتی قرار دارند و خلیج‌فارس از این لحاظ حد واسط طاقدیس‌ها- رواندگی‌ها و دشت‌ها-ناودیس‌ها قرار دارد که از نقش آب و دینامیک امواج در مدفون کردن گنبدهای نمکی در این زمینه نباید غافل شد.

بررسی جهت گسترش گنبدهای نمکی

بر اساس نتایج حاصله از نمودار Trend (شکل-۱۱)، گنبدها و پلاگ‌های نمکی سری هرمز دارای دو جهت اصلی هستند؛ ۱- جهت شمال باختری- جنوب خاوری که شامل تمامی گنبدهایی هستند که در بالاتر از گسل‌های جهرم و فسا قرار دارند؛ این گنبدها تماماً در کنار گسل‌های اصلی محدوده زاگرس همچون، گسل تراست زاگرس، گسل کازرون و کره بس قرار دارند و به تبعیت از جهت گسل‌ها، گنبدها نیز جهت آنان را به خود گرفته‌اند ۲- جهت شمالی جنوبی که گنبدها و پلاگ‌های پایین‌تر از خطوط گسلی جهرم و فسا را شامل می‌شود. این گنبدها شامل گنبدهایی است که تماماً در محدوده انبساط چین‌های زاگرس یعنی زاگرس فارس، هرمزگان و خلیج فارس قرار دارند و ارتفاع کمتری را نسبت به گنبدهای سری اول دارا هستند، ارتباط این گنبدها عمدتاً با گسل‌ها بارز و مشهود نیست و گسل‌های عامل رخنمون آن‌ها بر اساس یافته‌های پاژنگ و همکاران (۱۳۹۳) و مهرابی و همکاران (۱۳۹۴) گسل‌های پی‌سنگی است (شکل-۱۲) که عمدتاً دارای جهت شمال خاوری – جنوب باختری هستند، لکن به سبب تراکم گنبدهای نمکی نمودار Trend آن‌ها را در جهت شمالی – جنوبی نمایش داده است.



شکل۱۱: جهت گسترش گنبدهای نمکی سری هرمز در جهات شمال- جنوب و شمال غرب- جنوب شرق با استفاده از نمودار Trend

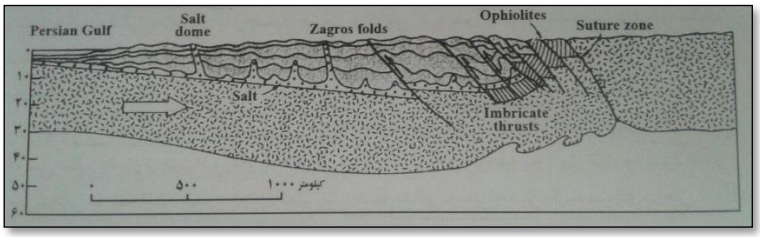


شکل۱۲: جهات رخنمون گنبدهای نمکی سازند هرمز در محدوده زاگرس

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی ضریب گردشدگی گنبدهای نمکی سری هرمز نشان می‌دهد که؛ ضریب گردشدگی این گنبدها بین مقادیر ۱ تا ۲/۳ قرار دارد و بر اساس طبقه‌بندی ارتفاعی صورت گرفته محدوده رخنمون، هر چه از مناطق پست و کم ارتفاع فاصله بگیریم از مقدار گردشدگی گنبدهای نمکی کاسته شده و بر انحراف از گردشدگی آن‌ها در امتداد گسل‌ها افزوده می‌شود به‌طوری‌که بیشترین مقادیر گردشدگی را طبقه ارتفاعی ۰–۵۰۰ متر و بیشترین مقدار انحراف از گردشدگی را طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰–۴۰۰۰ متر، به ترتیب با میانگین مقادیر گردشدگی ۱/۱۵ و ۱/۶ دارا هستند. بررسی مقادیر مساحت و ارتفاع گنبدهای نمکی نیز نشان می‌دهد که به‌طورکلی با افزایش ارتفاع محل رخنمون، از مساحت گنبدهای نمکی کاسته و بر ارتفاع آن‌ها افزوده می‌شود به‌گونه‌ای که گنبدهای قرارگرفته در طبقه ارتفاعی ۰–۵۰۰ متر دارای میانگین مساحت ۳۲/۷ کیلومترمربع و میانگین ارتفاع ۴۲۵/۳ متر و طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰–۴۰۰۰ مقدار مساحت به ۱۱/۵۸ کاهش و ارتفاع به ۲۵۵۶ افزایش پیدا می‌کند. بررسی رفتار ویژگی‌های مورفومتری در چین‌های میزبان و سطوح آبی (خلیج‌فارس) نشان می‌دهد؛ هر چه از محدوده دریا به سمت خشکی و ارتفاعات برویم ارتفاع گنبدهای نمکی نیز افزایش و گردشدگی گنبدهای نمکی کاهش پیدا می‌کند و هر چه از مناطق پست به مناطق مرتفع‌تر می‌رویم مساحت گنبدهای نمکی کاهش پیدا می‌کند ولی پهناورترین گنبدهای نمکی در خشکی و سطوح دشتی قرار دارند و خلیج‌فارس از این لحاظ حد واسط طاقدیس‌ها–روراندگی‌ها و دشت‌ها قرار دارد که از نقش آب در مدفون کردن گنبدهای نمکی در این زمینه نباید غافل شد. نتایج جهت شناسی رخنمون گنبدهای نمکی سری هرمز نشان می‌دهد که این گنبدها در دو جهت اصلی رخنمون پیداکرده‌اند، گنبدهایی که بالاتر از گسل‌های جهرم، فسا و در ناحیه زاگرس مرتفع قرار دارند، در امتداد گسل‌های اصلی با جهت شمال باختری –جنوب خاوری رخنمون پیداکرده‌اند و گسل‌هایی که پایین‌تر از گسل‌های جهرم و فسا، در ناحیه زاگرس چین‌خورده و خلیج‌فارس قرار دارند با جهت شمالی – جنوبی بر اساس نمودار Trend رخنمون یافته‌اند که بر اساس نظر پژوهشگران تمامی این گنبدها در کنار گسل‌های پی‌سنگی با جهت رخنمون شمالشرق–جنوبغرب قرار دارند.

درمجموع می‌توان گفت که ویژگی‌های مورفومتری گنبدهای نمکی انعکاس ویژگی واحدهایی هستند که این گنبدها در آن‌ها رخنمون یافته‌اند. مطابق شکل۱۳، که تحول زاگرس را در ارتباط با فرورانش صفحه عربی به زیر ایران مرکزی را نشان داده است، مرز شمالی و شمال شرقی سازند هرمز گسل اصلی زاگرس بوده است که به دلیل افزایش حجم رسوبات از ناحیه خلیج‌فارس به سمت ناحیه روراندگی، فرآیند دیاپریسم به دلیل حجم رسوبات رویی ضعیف‌تر می‌شود و در ناحیه روراندگی گسل‌های اصلی با روند شمال غرب– جنوب شرق رخنمون این سازند را در امتداد گسل‌ها تسهیل می‌سازد. مطابق این شکل گنبدهای نمکی در محدوده خلیج‌فارس و زاگرس چین‌خورده ازلحاظ پارامترهای مورفومتری، گردشدگی بیشتر و ارتفاع کمتری دارند ولی در ناحیه زاگرس رو رانده و سطوح چین‌خوردگی کشیدگی و ارتفاع بیشتری دارا هستند.



شکل۱۳: طرح شماتیک از تحول زاگرس در محل برخورد دو پوسته قاره ای ایران و عربستان و موقعیت سازند هرمز در محدوده چین خورده و روراندە (منبع علایی طالقانی، ۱۳۸۸: به نقل از هانیس و مک کیولین).

منابع

- افشاری، سمیه؛ آقا محمدی زنجیرآباد، حسین، ۱۳۹۵، پایش رشد و پیشروی گنبدهای نمکی زمین‌شناسی به‌منظور تعیین شدت فعالیت آن‌ها با استفاده از تصاویر SAR (مطالعه‌ی موردی؛ گنبد نمکی گچین)، ماهنامه علمی – ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شمار ۱۳۸، صص.۴۶-۵۲.
- پاژنگ، سپیده؛ کدخدائی، علی؛ زمانی، بهزاد؛ برگریزان، محمود و یوسف پور، محمدرضا، ۱۳۹۳، معرفی ۱۷ گنبد نمکی مدفون و غیر مدفون بر اساس داده‌های لرزه‌ای در تنگه هرمز (بلوکE)، مجله پژوهش نفت، شماره۸۴، صص.۱۵۰-۱۶۰.
- جداری عیوضی، جمشید، ۱۳۷۴، ژئومورفولوژی ایران، چاپ؛ سیزدهم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- جهانی، سلمان، ۱۳۹۱، تکتونیک نمک، چین‌خوردگی و خمش در زاگرس خلیج‌فارس، مجموع مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین، صص.۱-۹.
- حجتی، حسین، ۱۳۷۷، پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین دیاپیرهای دشتک رساله کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان.
- رجبی، معصومه؛ شیری طرزم، علی، ۱۳۹۳، بررسی تطبیقی ویژگی‌های کمی گنبدهای نمکی طاقدیسی و ناودیسی شمال غرب ایران، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم شماره۱، صص.۸۰-۹۶.
- عفیفی، محمدابراهیم؛ کردوانی، پرویز، ۱۳۸۷، گنبدهای نمکی بستک هرمزگان و تأثیر آن بر منابع آب‌وخاک، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال پنجم، شماره ۱۸، صص.۵۵-۷۰.
- علایی طالقانی، محمود، ۱۳۸۸، ژئومورفولوژی ایران، چاپ؛ ششم، انتشارات؛ قومس، تهران.
- علیزاده، امین، ۱۳۸۲، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ شانزدهم، انتشارات دانشگاه امام‌رضا، مشهد.
- کاسبی، ساناز؛ وطنی، علی؛ بحرودی، عباس و بهرامی کهیش نژاد، مریم، ۱۳۹۲، بررسی ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی در گنبدهای نمکی، ماهنامه علمی- ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره؛ ۱۰۹، صص.۲۷-۳۳.
- متولی زاده نائینی، ناهید؛ رامشت، محمدحسین؛ صلحی، سینا، ۱۳۹۰، بررسی مورفومتری و ژئومورفولوژی گنبد نمکی قم، مجموع مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین.
- معیری، مسعود؛ احمدی‌نژاد، یعقوب، ۱۳۸۵، پدیده دیاپیریسم و تأثیر آن بر آلودگی رودخانه شور دِهرَم، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۶، صص.۳۳-۴۵.
- مهدوی، رسول؛ بلوچ اکبری، زینب؛ پوستی، محمد و غلامی، حمید، ۱۳۹۶، اولویت‌بندی گنبدهای نمکی جنوب غرب هرمزگان برای دفن پسماندهای اتمی با تأکید بر حفاظت از حوزهٔ آبخیز، مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، شماره پانزدهم، صص.۷۳-۸۶.
- مهرابی، علی؛ داستانپور، محمد؛ رادفر، شهباز؛ وزیری، محمدرضا و درخشانی، محمدرضا، ۱۳۹۴، شناسایی خطواره‌های گسلی کمربند چین‌خورده- راندگی زاگرس بر پایه تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و تعیین ارتباط آن‌ها با موقعیت گنبدهای نمکی رخنمون یافته سری هرمز با استفاده از تحلیل‌هایGIS ، مجله علوم زمین، صص.۱۷-۳۲.

- *Abdolmaleki, N. Motagh, M. Bahroudi, A. Sharifi, M. A. & Haghighi, M. H.,2014, Using Envisat InSAR time-series to investigate the surface kinematics of an active salt extrusion near Qum, Iran. Journal of Geodynamics, 81, pp.56-66.*
- *Arian, M. & Noroozpour, H., 2015, Tectonic Geomorphology of Iran's Salt Structures. Open Journal of Geology, 5(02), pp. 61.*
- *Carter, R. C., Gani, M. R., Roesler, T., & Sarwar, A. K., 2016, Submarine channel evolution linked to rising salt domes, Gulf of Mexico, USA. Sedimentary Geology, 342, pp.237-253.*
- *Claringbould, J. S. Hyden, B. B. Sarg, J. F. & Trudgill, B. D.,2013, Structural evolution of a salt-cored, domed, reactivated fault complex, Jebel Madar, Oman. Journal of Structural Geology, 51, pp.118-131.*
- *Hansen, F. D. & Leigh, C. D., 2011, Salt disposal of heat-generating nuclear waste. Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories.*
- *Jackson, J.A. and Bates, R.L.,1997, Glossary of Geology. 4th Edition, American Geological Institute, Alexandria.*
- *Jahani, S. Callot, J. P. de Lamotte, D. F. Letouzey, J. & Leturmy, P.,2007, The salt diapirs of the eastern Fars province (Zagros, Iran): A brief outline of their past and present. In Thrust Belts and Foreland Basins, pp. 289-308*
- *Mortazavi, M., Heuss-Assbichler, S., & Shahri, M., 2017, Hydrothermal systems in the salt domes of south Iran. Procedia Earth and Planetary Science, 17, pp.913-916.*
- *Shafiq, M. A., Alaudah, Y., Di, H., & AlRegib, G., 2017, Salt dome detection within migrated seismic volumes using phase congruency. In SEG Technical Program Expanded Abstracts, pp. 2360-2365.*
- *Thomas, R. J. Ellison, R. A. Goodenough, K. M. Roberts, N. M. & Allen, P. A. (2015). Salt domes of the UAE and Oman: probing eastern Arabia. Precambrian ReseArch, 256,pp.1-16.*