

بررسی تطبیقی ویژگی‌های کمی گنبد‌های نمکی طاق‌دیزی و ناودیزی شمال غرب ایران

معصومه رجبی* - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز
علی شیرازی طرزم - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۴/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۳/۲۲

چکیده

گنبد‌های نمکی از جمله لندفرم‌هایی هستند که علیرغم اهمیت آن‌ها، کمتر از ناحیه ژئومورفولوگ‌ها بررسی شدند. از مجموع گنبد‌های نمکی ایران، تعداد قابل ملاحظه‌ای در شمال غرب واقع است. در مقاله حاضر سعی شده ویژگی‌های کمی گنبد‌های نمکی شمال غرب ایران مورد بررسی قرار گیرد به همین منظور، با توجه به موقعیت گنبد‌های نمکی نسبت به ساختارهای تکتونیک، گنبد‌های نمکی به دو گروه گنبد‌های داخل ناودیس‌ها و داخل طاق‌دیس‌ها تقسیم شده اند. جمع‌آوری داده‌ها از طریق بررسی‌های میدانی، نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای (اسپات، ۲۰۱۲) و عکس‌های هوایی (۱:۵۵۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰) صورت گرفته است. از مجموع ۴۷ گنبد نمکی شناسایی شده در شمال غرب، ۲۹ مورد در داخل و یا حاشیه ساختارهای ناودیزی و ۱۸ گنبد نمکی در داخل ساختارهای طاق‌دیزی قرار دارند. در این تحقیق، ضمن مقایسه پارامترهای مورفومتری (ضریب کشیدگی، ضریب افراستگی، ارتفاع نسبی، مساحت، محیط، دایره-واری و فاصله گنبد‌ها از گسل‌ها) دو گروه با یکدیگر، تأثیرپذیری این پارامترها از گسل تبریز و نزدیکترین گسل نیز بررسی شده است. نتیجه بررسی پارامترهای مورفومتری گنبد‌ها نشان می‌دهند که در کل گنبد‌های نمکی داخل ناودیس‌ها نسبت به گنبد‌های نمکی داخل طاق‌دیس دارای مساحت، ارتفاع و دایره‌واری کمتر است، اما دارای ضریب کشیدگی و ضریب برافراستگی بیشتری می‌باشند. گنبد‌های داخل ناودیس‌ها یا روی گسل‌ها یا در فاصله کمی از گسل‌ها و اکثراً در جبهه کوهستان‌ها قرار دارند، در حالی که گنبد‌های داخل طاق‌دیس‌ها در فاصله بیشتری نسبت به گسل‌ها قرار دارند. بنابراین پارامترهای مورفومتری گنبد‌های داخل ناودیس‌ها نسبت به گنبد‌های داخل طاق‌دیس، بیشتر تحت تأثیر گسل‌ها هستند.

واژگان کلیدی: گنبد نمکی شمال غرب، طاق‌دیس، ناودیس، تکتونیک نمکی، مورفومتری

مقدمه

رسوبات تبخیری و گنبد‌های نمکی همراه آن‌ها تقریباً ۲۵٪ سطح قاره‌ها را در بر گرفته‌اند و حتی در نیمکره شمالی این رقم به ۵۰٪ می‌رسد (ثروتی، ۱۳۸۱ ص ۸۸). رسوبات نمک‌دار بر اثر نشست شیمیایی نمک‌ها از محلول‌های تلغیظ شده یا آب‌های شور تشکیل می‌شوند، از آن جایی که این تلغیظ بر اثر تبخیر صورت می‌گیرد، رسوبات نمکی را رسوبات تبخیری می‌نامند (پتی جان^۱، ۱۳۶۹، ص ۲۲۱) رسوبات نمکی به طور عمده شامل مارن، گچ و نمک می‌باشند که در سطح زمین اختلاف چگالی چندانی ندارند، اما وقتی این رسوبات در عمق حدود ۷۰۰ متری زمین قرار می‌گیرند، رسوبات همراه نمک به خاطر متراکم شدن، چگالی بیشتری پیدا می‌کنند، در حالیکه نمک به علت عدم تراکم‌پذیری، چگالی اولیه خود را حفظ می‌کند. اختلاف چگالی نیروی محرکه لازم برای دی‌پایریسم نمکی و تشکیل گنبد‌های نمکی را فراهم می‌آورد (بیتس^۲، ۱۳۶۹، ص ۱۸۳). از سویی با افزایش عمق و دما حالت پلاستیکی نمک بیشتر می‌شود و صعود نمک راحت‌تر می‌شود (صیرفیان، ۱۳۷۱، ص ۲۲۱). گنبد‌های نمکی علاوه بر این که منبعی برای نمک، هیدروکربن‌ها، عناصر مختلف فلزی و غیرفلزی هستند، یکی از عوامل مهم مورفوژنز در سطح وسیعی از جهان به‌ویژه در مناطق جنب حاره‌ای می‌باشند

زمردیان (۱۳۸۱، ص ۱۸۸) گنبد‌های نمکی ایران را به چهار ناحیه گنبد‌های جنوب ایران، زاگرس مرتفع، ایران مرکزی و آذربایجان تقسیم‌بندی کرده است. گنبد‌های جنوب ایران به خاطر داشتن منابع عظیم هیدروکربنی و ایجاد اشکال بزرگ زمینی و تأثیرات زیست‌محیطی در سطح وسیع، مورد توجه محققان بوده و کارهای تحقیقی زیادی از جنبه‌های مختلف زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی روی آن‌ها انجام گرفته است. از جمله نواحی دی‌پایریسم نمکی ایران شمال غرب آن می‌باشد که با بررسی‌های میدانی بیش از ۵۰ گنبد نمکی در منطقه شناسایی شده است که از بین آن‌ها ۴۸ گنبد اشکالی زمینی قابل مورفومتری ایجاد کرده‌اند. به نظر ساکت (۱۳۸۴، ص ۶۷) گنبد‌های آذربایجان نسبت به سایر مناطق آن کوچک، جوان و کم‌عمق بوده و از محل اولیه خود زیاد جابجا نشده‌اند، اما تراکم زیادی دارند و براساس محاسبات نگارندگان تراکم گنبد‌های شمال غرب ایران ۳ برابر بیشتر و میانگین مساحت آن‌ها ۲۰ برابر کمتر از گنبد‌های نمکی جنوب است. بیشتر گنبد‌های نمکی شمال غرب ایران مربوط به سازند قرمز بالایی^۳ یا سن میوسن، تعدادی از گنبد‌ها مربوط به سازند قم^۴ یا سن الیگو-میوسن و تنها یک گنبد مربوط به سازند قرمز زیرین^۵ یا سن ائوسن هستند، بنابراین رسوبات تبخیری شمال غرب ایران دارای سن ترشیری هستند و همانند سایر ساختارهای تکتونیکی منطقه تحت تأثیر گسل تبریز با جهت شمال غربی- جنوب شرقی و به شکل نواری در ادامه ایران مرکزی تا کوه آرارات کشیده شده‌اند. بررسی چین‌های موجود در رسوبات تبخیری منطقه نشان می‌دهد که طاق‌دیس‌ها کوچک بوده و اغلب دچار فرسایش شده‌اند، در حالی که ناودیس‌ها بسیار بزرگ، سالم، معلق و دارای محور شیب‌دار هستند. به این خاطر در تحقیق حاضر سعی شده تا تأثیر تفاوت‌های مورفومتری چین‌های میزبان بر ویژگی‌های کمی گنبد‌های نمکی داخل آن‌ها مشخص شود. برای این منظور گنبد‌های نمکی شمال غرب ایران با توجه به نوع چین میزبان به دو گروه، گنبد‌های نمکی داخل یا حاشیه ناودیس-

1-F.J.Pettijohn

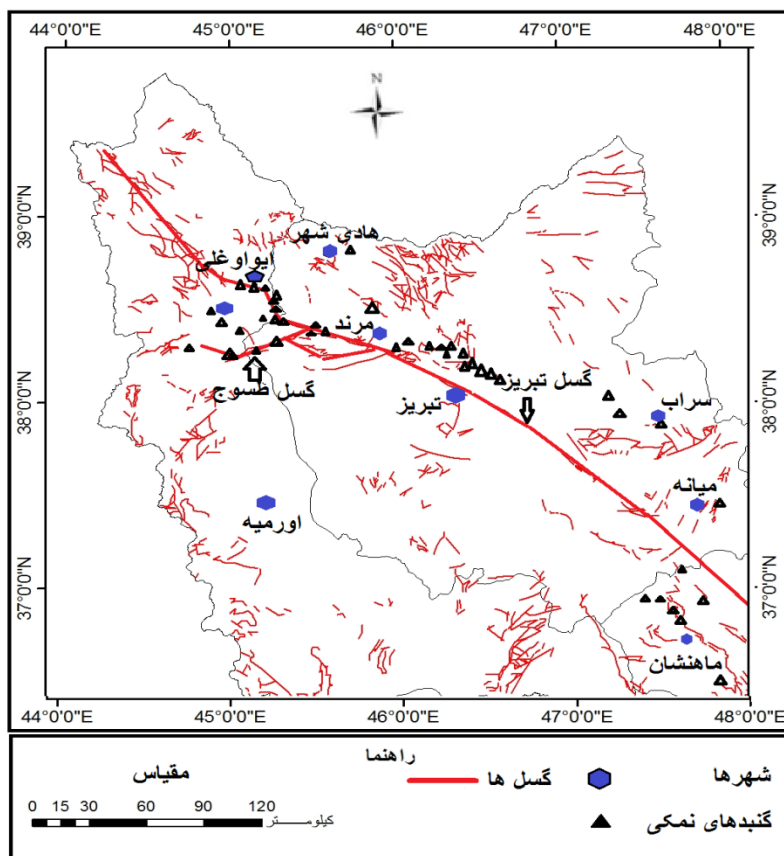
2-L.Bits

1-Upper Red Formation

2- Qom Formation

3- Lower Red Formation

ها و گنبد‌های نمکی داخل طاقدیس‌ها، طبقه شده و میزان و نوع روابط بین ویژگی‌های کمی هر گروه با گسل‌های منطقه بررسی شده، سپس ویژگی‌های دو گروه با هم مقایسه شده است. توزیع جغرافیایی گنبد‌های شمال غرب ایران و ارتباط آن‌ها با گسل‌های منطقه در (شکل ۱) نشان داده شده است.



شکل ۱: نقشه توزیع گنبد‌های نمکی در ارتباط با گسل‌ها در شمال غرب ایران

پیشینه تحقیق

در تمامی کتاب‌های زمین‌شناسی ساختمانی مثلمدنی^۱(۱۳۶۹)، پورکرمانی و ادیب^۲(۱۳۸۳)، بیلینگز^۱(۱۳۸۷) و چند کتاب دیگر فصلی با موضوع گنبد‌های نمکی آمده است و در آن اصول و مبانی نظری گنبد‌های نمکی به طور اجمال مطرح شده است. در کتاب‌های ژئومورفولوژی همانند ثروتی^۱(۱۳۸۱) و زمردیان^۱(۱۳۸۱) بخشی به گنبد‌های نمکی اختصاص دارد. بحث‌های تخصصی‌تر در کتب و مقالات متعددی از جمله تکتونیک نمکی جنیون^۲(۱۹۸۶)، زمین‌شناسی دینامیکی نمک و ساختارهای مرتبط در کتاب‌های لرج و اوبرین^۳(۱۹۸۷)، درویش زاده^۴(۱۳۶۹)، داوودزاده^۴(۱۳۶۹)، کنت^۴(۱۹۸۷)، لروج و اوبرین^۳(۱۹۸۶) و چند کتاب دیگر آمده است. در بیشتر این منابع که ذکر همه آن‌ها امکان‌پذیر نیست، در مورد گنبد‌های نمکی ایران به ویژه گنبد‌های نمکی جنوب با موضوعات مختلف بحث و یا برای نمونه از آن‌ها ذکر شده است. در حالی که در مورد گنبد‌های نمکی شمال غرب ایران به ویژه در منابع داخلی فقط به ذکر نامی از آن‌ها اکتفا شده است. تنها دو مورد کار تحقیقی با موضوع گنبد نمکی، روی آن‌ها انجام گرفته است.

1-Bilings
2-Jenion
3-Lerch and obrien
4-Kent

شیری (۱۳۸۵) در بررسی ویژگی های ژئومورفولوژیکی حوضه سنخ چای واقع در شمال غرب تبریز، گنبد های نمکی این حوضه را هم معرفی کرده است. رجبی و شیری (۱۳۸۸) به بررسی گنبد های نمکی شمال غرب تبریز و اشکال مرتبط با پرداخته اند. جلیل پور (۱۳۹۰) گنبد نمکی خواجه در استان آذربایجان شرقی را از دیدگاه ساختاری بررسی و سپس امکان ذخیره سازی گاز طبیعی در این گنبد را کنکاش کرده است. رجبی و بیاتی (۱۳۹۰) نیز در کتاب ژئومورفولوژی شمال غرب ایران به معرفی گنبد های نمکی منطقه پرداخته اند. بنابراین بررسی گنبد های نمکی شمال غرب ایران از جنبه های مختلف ژئومورفیک و زمین شناسی ضرورت دارد.

روش تحقیق

با توجه به هدف تحقیق ابتدا باید گنبد های نمکی منطقه شناسایی می شدند که دارای ابعاد قابل اندازه گیری بودند. با توجه به کوچک بودن گنبد های منطقه از ۴۸ گنبد فقط ۸ گنبد در نقشه های زمین شناسی دیده می شود سایر گنبد ها بایستی در روی زمین شناسایی و بررسی می شدند. لذا برای شناسایی و تطبیق گنبد ها با نقشه های زمین شناسی، عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای، کارهای میدانی زیادی انجام گرفته است. در مطالعات میدانی ابتدا برخی شاخص ها مثل مختصات جغرافیایی، ارتفاع نسبی، ضخامت لایه ها، امتداد محور طولی گنبد ها اندازه گیری و سپس نوع چین گنبد ها و چین میزبان، جهت محور بزرگ گنبد ها و برخی نقاط شاخص برای تطبیق دقیق تر گنبد ها با تصویر ماهواره ای و نقشه های زمین شناسی و تعیین محدوده گنبد ها روی آن ها با استفاده از GPS، قطب نما، متر و دوربین عکاسی مشخص شدند.

بعد از تطبیق گنبد های نمکی با نقشه های زمین شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰)، نقشه های توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰) عکس های هوایی (۱:۵۵۰۰۰) سال ۱۳۳۴ و ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۴۳ و تصویر ماهواره ای اسپات (۲۰۰۹) و شناسایی کامل آن ها، سایر داده های اولیه مثل طول گسل، طول محور چین ها و گنبد های نمکی، ارتفاع نسبی، مساحت، محیط و فاصله گنبد ها از گسل تبریز و نزدیک ترین گسل استخراج شدند. جهت بررسی های مورفومتری گنبد ها، ضریب کشیدگی ($ER = L_{max} / L_{min}$)، ضریب دایره واروی ($f_{circ} = (4\pi A) / P^2$) ضریب برافراشتگی گنبد های نمکی ($CF = \Delta H / A$) و تراکم گسل ها ($Df = Lf / Af$) محاسبه شده اند که در این ضرائب، L طول محورها، A مساحت گنبد ها به کیلومتر مربع، P محیط گنبد ها به کیلومتر، Lf مجموع طول گسل ها و Af مساحت اطراف گنبد ها در شعاع ۵ کیلومتری می باشد. نقشه توزیع گنبد ها و گسل ها با استفاده از نرم افزار GIS تهیه شده است.

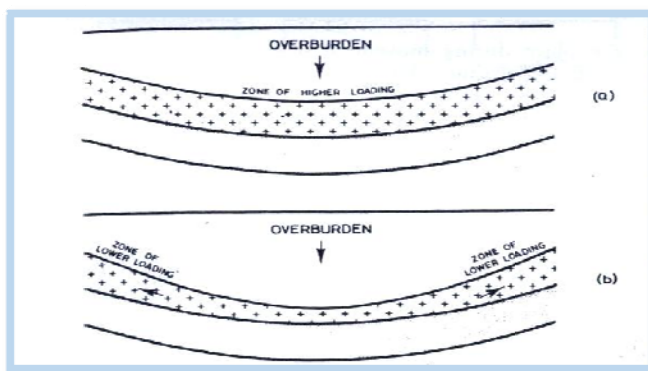
برای بررسی و تحلیل داده ها، گنبد ها بر اساس موقعیت آن ها نسبت به ناودیس ها و طاق دیس ها، به دو گروه گنبد های داخل ناودیس ها و گنبد های داخل طاق دیس ها تقسیم شده و داده های کمی هر گروه در جدولی به نام ویژگی های مورفومتری تنظیم شدند. ابتدا نمودار پراکنش، خط رگرسیون، نوع و مقدار همبستگی بین پارامترهای مورفومتری هر گروه با استفاده از نرم افزار SPSS مشخص و تحلیل شدند، سپس ویژگی های کمی دو گروه با یکدیگر مقایسه شدند.

۴. طبقه بندی گنبد های نمکی شمال غرب ایران بر اساس نوع چین میزبان

بیشتر طبقه بندی های انجام شده در مورد گنبد های نمکی از جمله طبقه بندی جکسون و تالبوت (۱۹۹۴، ص ۱۷۳) و اسدیان (۱۳۸۶، ص ۸۰) بر اساس ساختارهای نمکی تشکیل دهنده گنبد های نمکی می باشد. در این تحقیق سعی شده با طبقه بندی گنبد های نمکی بر اساس نوع چین میزبان، تأثیر نوع چین میزبان و گسل ها بر ویژگی های کمی گنبد ها بررسی شود. بر این اساس گنبد های شمال غرب ایران به دو گروه گنبد های داخل ناودیس ها و گنبد های داخل طاق دیس ها طبقه بندی شده اند.

۴.۱. گنبد های نمکی داخل ناودیس ها

جنوین^۱ (۱۹۸۶، ص ۴۵) برای گنبدهایی که در حاشیه ناودیس‌ها تشکیل می‌شوند مدل شکل (۲) را ارائه داده است. چنانکه ملاحظه می‌شود، فشار روباره^۲ های بخش مرکزی ناودیس‌ها نمک را به اطراف ناودیس هدایت می‌کند، اگر طاقدی ها سالم باشند، به علت فشار کم، محل مناسبی برای تجمع و بالادگی نمکی هستند و در صورت فرسایش طاقدیس‌ها، حاشیه ناودیس‌ها محل خوبی برای تشکیل گنبدهای نمکی می‌باشند.



شکل ۲: چگونگی هدایت نمک به حاشیه ناودیس‌ها در اثر فشار ناشی از اختلاف روباره‌ها (جنوین-۱۹۸۶، ص ۴۵)

در پژوهش حاضر ضمن شناسایی گنبدهای نمکی با ساختار ناودیسی، سعی شده ویژگی‌های مورفومتری آن‌ها به تفکیک بررسی و مقایسه شود. از مجموع ۴۸ گنبد نمکی شناسایی شده در شمال غرب ایران، ۲۹ مورد از گنبدها در داخل و یا حاشیه ساختارهای ناودیسی قرار دارند که مشخصات مورفومتری آن‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های مورفومتری گنبدهای نمکی داخل ناودیس

ردیف	نام گنبد	نوع چین گنبد	نوع چین میزبان	مساحت km ²	ضریب کشیدگی	ارتفاع نسبی M	برافراشتگی m/km	فاصله از گسل تبریز km	فاصله از گسل مجاور k	دایره‌واری	تراکم گسل 1/km	محیط km
1	ایواوغلی ۱	طاقدیس	ناودیس	0.12	1.16	36	300	1.5	0	1.24	0.14	1.1
2	ایواوغلی ۲	طاقدیس	ناودیس	0.25	1.17	44	176	0	0	1.1	1.66	1.69
3	ایواوغلی ۳	طاقدیس	ناودیس	0.2	2.3	35	175	1.5	0	2.08	0.16	1.1
4	ایواوغلی ۴	طاقدیس	ناودیس	1.176	2.3	100	85	1.5	0	0.64	0.2	4.78
5	خاکمردان	طاقدیس	ناودیس	0.21	2.67	75	1700	12.3	4	1.54	0.114	1.24
6	قره‌آغاچ ۱	طاقدیس	ناودیس	0.466	2.2	100	214.59	41	0	0.69	0.057	2.91
7	رجل‌آباد	طاقدیس	ناودیس	0.24	1.07	66	275	31.5	0	1	0.28	1.53
8	ینگجه	طاقدیس	ناودیس	0.19	1.14	42	221	37.6	0	1	0.72	0.75
9	خواجه	طاقدیس	ناودیس	10.2	2	155	15.2	10	0	0.79	0.45	12.7
10	گنبدسار	طاقدیس	ناودیس	0.18	1.97	86	478	14	2	0.94	0.31	1.55
11	ترپ	طاقدیس	ناودیس	0.177	1.97	90	508	14	1.5	0.93	0.37	1.55
12	پیربالا	طاقدیس	ناودیس	4	1.22	288	72	2.05	2.5	0.89	0.229	4
13	آق‌بلاغ ۱	تک شیب	ناودیس	0.003	4	6	2167	0	0	0.5	0.191	0.265
14	آق‌بلاغ ۲	تک شیب	ناودیس	0.003	2.82	11	4151	0	0	0.44	0.191	0.276
15	آق‌بلاغ ۳	تک شیب	ناودیس	0.007	2.07	14	1877	0	0	0.82	0.191	0.339
16	آق‌بلاغ ۴	تک شیب	ناودیس	0.006	2.5	21	3500	0	0	0.69	0.191	0.33
17	آق‌بلاغ ۵	تک شیب	ناودیس	0.009	1.4	16	1778	0	0	0.73	0.191	0.393

1- Jenyon

2-Overburden

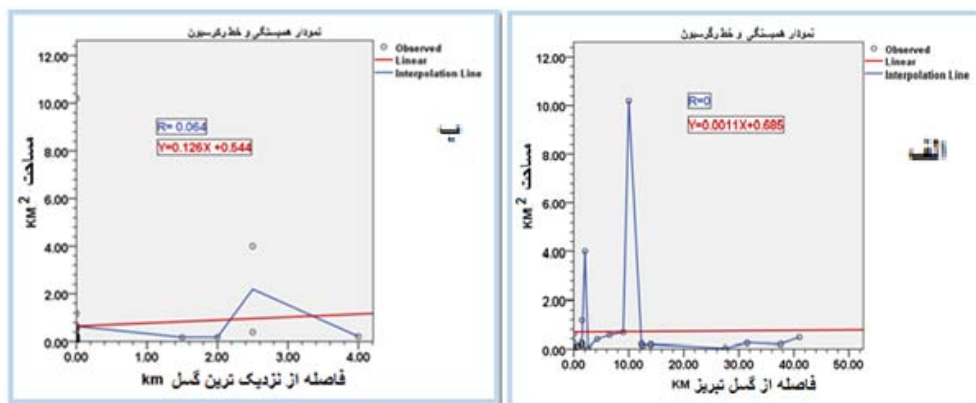
0.293	0.191	0.75	0	0	3200	16	1.8	0.005	ناودیس	تک شیب	آق بلاغ ۶	18
0.432	0.191	0.76	0	0	1545	17	2	0.011	ناودیس	تک شیب	آق بلاغ ۷	19
0.642	0.191	1.47	0	0	600	30	1.47	0.05	ناودیس	تک شیب	آق بلاغ ۸	20
2.23	0.764	0.61	0	1.5	779	187	1.26	0.24	ناودیس	تک شیب	شوردره	21
0.77	0.47	1.8	0	0.6	1023.5	87	1.93	0.085	ناودیس	تک شیب	قزلجه	22
3.73	0.53	0.53	0	0	157.63	93	2.02	0.59	ناودیس	تک شیب	چوبانلو	23
2.4	0.41	1.22	0	6.5	247	137	1.34	0.56	ناودیس	تک شیب	شیرینچه	24
4.14	0.48	0.5	0	9	138	94	2.42	0.68	ناودیس	تک شیب	سفیدان	25
1.2	0.47	1.16	0	12.5	774	103	4.67	0.133	ناودیس	تک شیب	ایوند	26
1.28	0.229	0.64	0	2.6	2812	90	2.75	0.032	ناودیس	تک شیب	محبوب آباد	27
4.33	0.204	0.26	2.5	4.25	236	92	5.13	0.39	ناودیس	تک شیب	کشکسرای	28
2.111	0.764	0.1	0	27.5	4143	145	9.1	0.035	ناودیس	تک شیب	زنوز	29

۱.۱.۴. بررسی روابط بین پارامترهای گنبد های نمکی داخل ناودیس ها:

چنانکه جدول (۱) نشان می دهد پارامترهای کمی بررسی شده شامل مساحت، ارتفاع نسبی، محیط، ضریب برافراستگی، ضریب کشیدگی، فاصله از گسل تبریز، فاصله از نزدیک ترین گسل و تراکم گسل ها در شعاع ۵ کیلومتری گنبد ها می باشند که در اینجا سعی می شود تأثیر پارامترهای مربوط به گسل ها روی پارامترهای مربوط به شکل گنبد ها مورد تحلیل قرار گیرند:

۱.۱.۴.۱. بررسی همبستگی بین مساحت گنبد های نمکی داخل ناودیس ها با فاصله از گسل تبریز و نزدیک ترین گسل

بین مساحت گنبد ها با فاصله از نزدیک ترین گسل ها رابطه مستقیم به ضریب همبستگی ($R = 0.064$) وجود دارد (شکل ۳)، اما بین مساحت گنبد ها با فاصله از گسل تبریز رابطه وجود ندارد (شکل الف-۳). این امر نشان می دهد که گسل های محلی مجاور گنبد ها بیشتر از گسل تبریز که در فاصله دورتری از گنبد ها قرار دارد، در ویژگی مورفومتری آن ها نقش دارند.

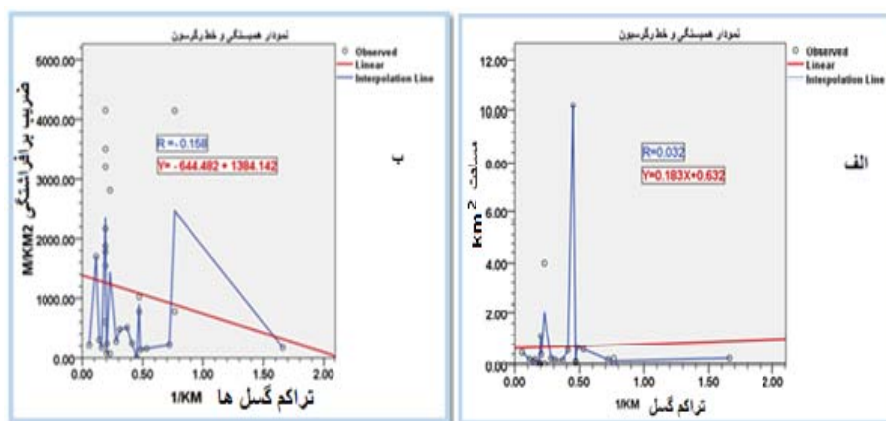


شکل ۳: نمودار همبستگی بین مساحت و فاصله از گسل تبریز (شکل الف) و فاصله از نزدیک ترین گسل ها (شکل ب) در گنبد های داخل ناودیس ها و خطر گرسون

۲.۱.۴. بررسی رابطه بین مساحت و ضریب برافراستگی گنبد های داخل ناودیس ها با تراکم گسل ها

مساحت گنبد های داخل ناودیس ها با تراکم گسل ها رابطه مستقیم ضعیفی دارد (شکل ۴). با توجه به جدول (۱) گنبد هایی که روی گسل های اصلی قرار دارند دارای ساختمان تک شیب هستند. شکل (۵) به راحتی در امتداد صفحه گسلی بدون بالا زدن لایه های رسوبی در سطح وسیع بالا آمده و دارای مساحت کمی می باشند، اما گنبد هایی که دور از گسل های اصلی و بین

چندین گسل فرعی تشکیل شده اند به هنگام بالا آمدن کل قطعه روباره بین دو گسل را با مساحت زیاد بلند کرده‌اند. بنابراین با افزایش تراکم گسل‌ها و به تبع آن مساحت، ضریب برافراشتگی کمتر خواهد شد.



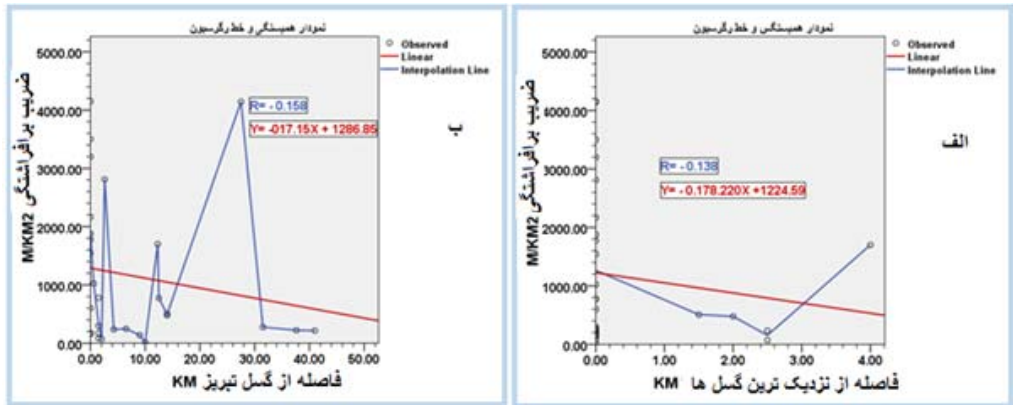
شکل ۴: نمودار همبستگی بین تراکم گسل‌ها با مساحت (الف) و تراکم گسل‌ها با ضریب برافراشتگی (ب) در گنبد‌های نمکی داخل ناودیس‌ها و خط رگرسیون



شکل ۵: تصویری از ساختار تک‌شیب گنبد نمکی روستای قزلجه طسوج (دید از جنوب)

۳.۱.۱.۴ رابطه بین ضریب برافراشتگی گنبد‌های با میزبان ناودیسی با فاصله از گسل تبریز و نزدیک‌ترین گسل

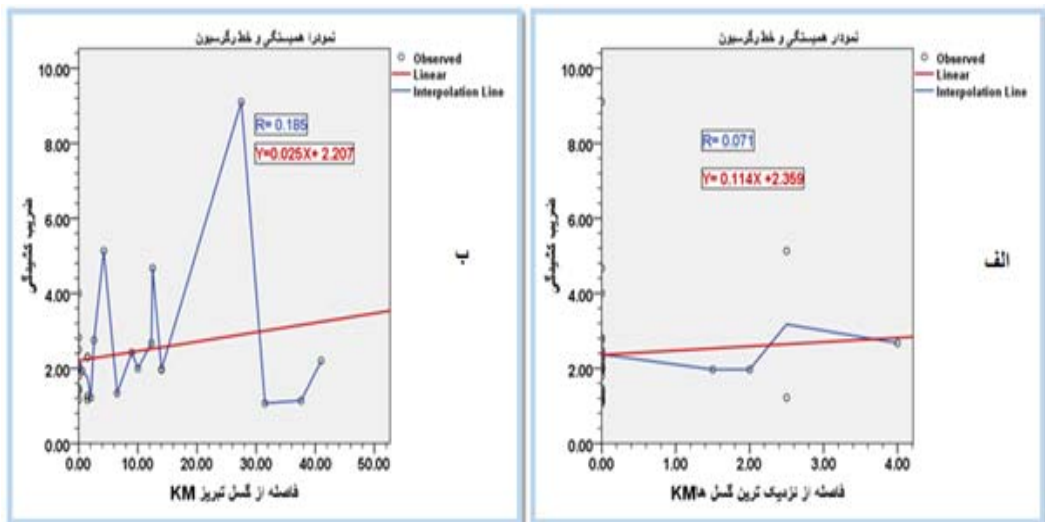
مطابق شکل (۶) بین ضریب برافراشتگی و فاصله از گسل تبریز و فاصله از نزدیک‌ترین گسل‌ها در گنبد‌های با میزبان ناودیسی رابطه معکوس نسبتاً خوبی وجود دارد. با توجه به این که مساحت گنبد‌ها با نزدیک شدن به گسل‌ها کم می‌شود، ضریب برافراشتگی گنبد‌ها باید با فاصله از گسل‌ها رابطه معکوس داشته باشد.



شکل ۶: نمودار همبستگی بین ضریب برافراشتگی و فاصله از نزدیک‌ترین گسل‌ها (الف) و ضریب برافراشتگی با فاصله از گسل تبریز (ب) در گنبد‌های ناودیس و خط رگرسیون

۴.۱.۱.۴. رابطه ضریب کشیدگی گنبد‌های داخل ناودیس ها با فاصله آن‌ها از گسل تبریز و نزدیک‌ترین گسل‌ها:

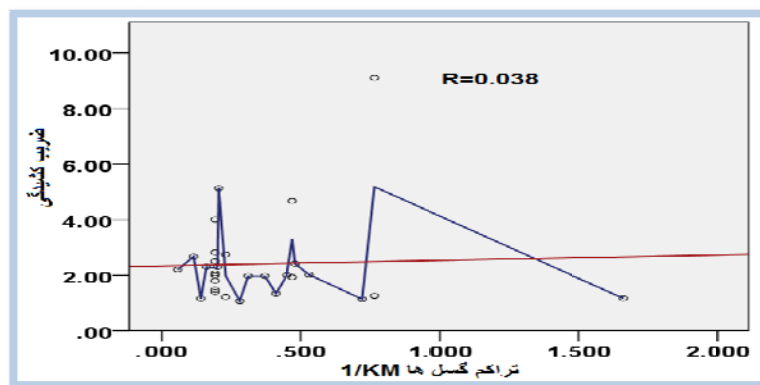
شکل (۷) نشان می‌دهد همبستگی ضریب کشیدگی گنبد‌ها با فاصله از گسل تبریز بیشتر از نزدیک‌ترین گسل‌هاست. اصولاً باید بین ضریب کشیدگی گنبد‌ها و فاصله آن‌ها از گسل‌ها رابطه معکوس وجود داشته باشد. با توجه به جدول (۱) با اینکه بعضی گنبد‌ها از گسل تبریز فاصله دارند، همین گنبد‌ها روی یک گسل دیگر قرار دارند و متأثر از آن دارای ضریب کشیدگی بالایی هستند. در مورد نمودار رابطه بین ضریب کشیدگی فاصله از نزدیک‌ترین گسل‌ها هم باید گفت براساس داده‌های جدول (۱) تمام گنبد‌های ناودیس به غیر از چهار گنبد، روی گسل‌ها قرار دارند و نمی‌تواند رابطه بین ضریب کشیدگی و فاصله از گسل را نشان دهند و این رابطه مستقیم نشان داده شده به خاطر چهار گنبدی است که از گسل‌ها فاصله دارند و بیشتر تحت تأثیر ماگماتیسم هستند.



شکل ۷: نمودار همبستگی بین ضریب کشیدگی با فاصله از نزدیک‌ترین گسل‌ها (الف) و ضریب کشیدگی با فاصله از گسل تبریز (ب) در گنبد‌های داخل ناودیس و خط رگرسیون

۴.۱.۱.۵. بررسی رابطه بین ضریب کشیدگی و تراکم گسل‌ها در گنبد‌های با میزبان ناودیس:

چنانکه در شکل (۸) مشاهده می‌شود، بین ضریب کشیدگی و تراکم گسل‌ها در گنبد‌های با میزبان ناودیس با ضریب همبستگی (R=۰/۰۳۸) وجود دارد که نشان‌دهنده نقش گسل‌ها در جهت‌گیری گنبد‌ها می‌باشد



شکل ۸: نمودار همبستگی بین تراکم گسل‌ها با ضریب کشیدگی گنبد‌های داخل ناودیس

۲.۱.۴. گنبد‌های نمکی داخل طاق‌دیس‌ها

از ۴۸ گنبد شناسایی شده در شمال غرب، ۱۸ گنبد نمکی در داخل ساختارهای طاق‌دیس قرار دارند. این گروه از گنبد‌ها یا در داخل طاق‌دیس‌ها قرار دارند و بخشی از یک طاق‌دیس هستند مثل گنبد هریس، گنبد دوزدوزان و غیره. و یا مثل گنبد لیوارجان، مزرعه، زنجیره و غیره تمامی یک طاق‌دیس را تشکیل می‌دهند. از طرفی تقریباً تمام این گنبد‌ها دارای ساختار طاق‌دیس می‌باشند.

مشخصات مورفومتری گنبد‌های داخل طاق‌دیس‌ها در جدول (۲) آمده است.

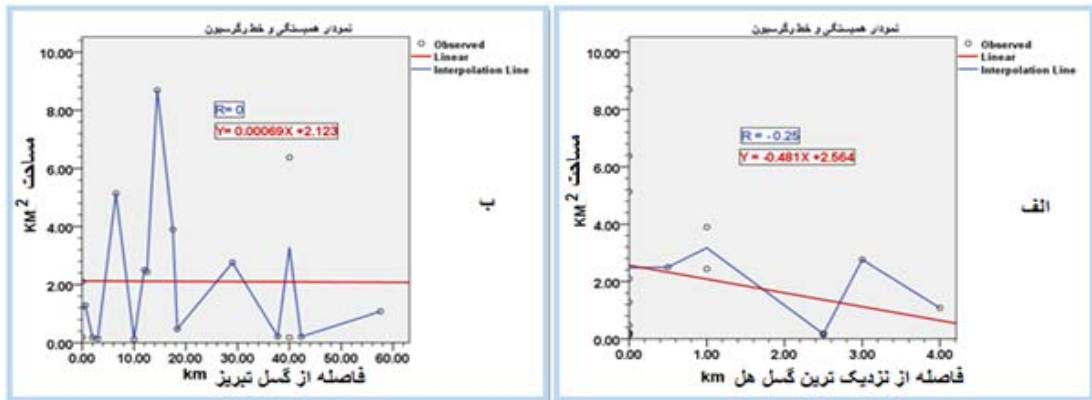
جدول (۲): مشخصات مورفومتری گنبد‌های نمکی داخل ساختار طاق‌دیس

ردیف	نام گنبد	نوع چین گنبد	چین میزبان	مساحت km^2	کشیدگی	ارتفاع نسبی m	برافراشتگی m/km	فاصله از گسل تبریز km	فاصله از گسل‌های مجاور km	دایره واری	تراکم گسل $1/km$	محیط km
1	منور	طاق‌دیس	طاق‌دیس	2.5	2.25	205	82	12	0.5	0.88	0.7	6.19
2	هریس	طاق‌دیس	طاق‌دیس	6.38	1.1	79	12.38	40	0	0.93	0.127	9.3
3	قره آغاج ۲	طاق‌دیس	طاق‌دیس	0.18	1.75	65	361	40	0	1.3	0.057	1.32
4	شکر بلاغی	طاق‌دیس	طاق‌دیس	2.44	1.6	90	36.88	12.5	1	0.85	0.28	6
5	امیر بیک	طاق‌دیس	طاق‌دیس	0.18	1.22	33	63	2	2.5	0.88	0.2	6.86
6	مامان میانه	طاق‌دیس	طاق‌دیس	3.9	2.5	190	48.7	17.5	1	0.66	0.077	3.39
7	دوزدوزان	طاق‌دیس	طاق‌دیس	2.76	1.7	48	17.39	29	3	0.89	0.032	6.23
8	چهرآباد	طاق‌دیس	طاق‌دیس	0.47	1.08	86	183	18.36	0	1.33	0.45	2.11
9	رز ماهنشان	طاق‌دیس	طاق‌دیس	0.22	1.15	152	316.66	37.74	0	1.26	0.795	1.48
10	دوز کندی	طاق‌دیس	طاق‌دیس	0.204	1.18	43	210.8	42.25	0	1	0.32	1.37
11	قاپلیق	طاق‌دیس	طاق‌دیس	2.1	2.4	133	63.33	0	0	0.56	0.147	6.86
12	زنجیره	طاق‌دیس	طاق‌دیس	0.19	1.89	145	159	0	2.5	1.07	0.152	3.5
13	نهند	طاق‌دیس	طاق‌دیس	8.69	1.28	358	41.2	14.5	0	0.81	0.487	11.6
14	مزرعه	طاق‌دیس	طاق‌دیس	0.12	1.74	25	208	10	0	1.03	0.66	1.21
15	لیوارجان	طاق‌دیس	طاق‌دیس	1.078	2.2	86	19	57.56	4	0.19	0.05	3.7
16	چهرگان	تک شیب	طاق‌دیس	1.28	2	124	96.87	0.6	0	2.66	0.45	2.46
17	قلج تپه	تک شیب	طاق‌دیس	0.14	3.5	131	935	3	2.5	1.06	0.18	1.29
18	تازه کند	تک شیب	طاق‌دیس	5.14	1.24	326	63.4	6.5	0	0.93	0.387	8.34

۱.۲.۴. بررسی روابط بین ویژگی مورفومتری گنبد‌های داخل ساختارهای طاق‌دییسی

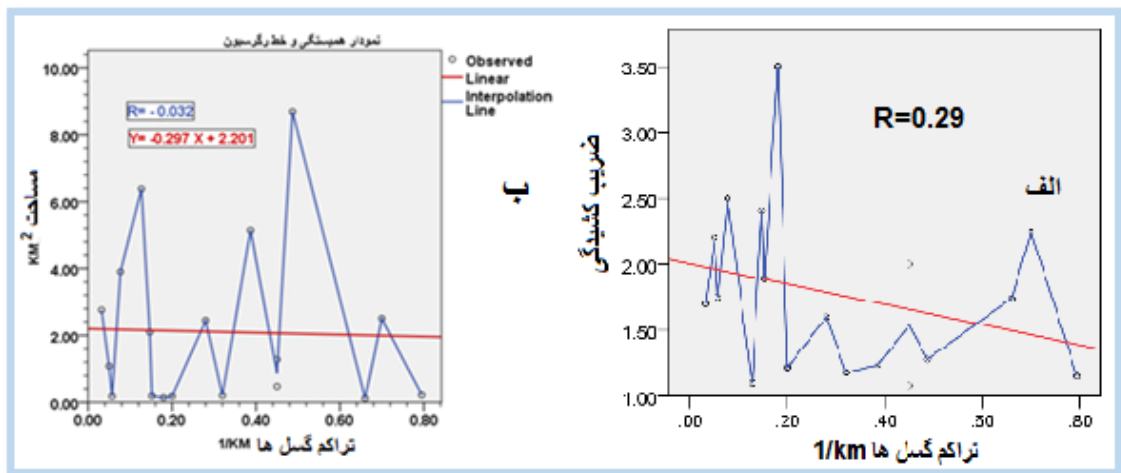
۱.۱.۲.۴. رابطه بین مساحت گنبد‌های داخل طاق‌دیس‌ها با فاصله آن‌ها از گسل تبریز و نزدیک‌ترین گسل‌ها

مطابق شکل (الف) بین مساحت گنبد‌های داخل طاق‌دیس با فاصله آن‌ها از نزدیک‌ترین گسل‌ها رابطه معکوس با ضریب همبستگی ($R = -0.25$) وجود دارد که نسبت به سایر پارامترها همبستگی خوبی است. در حالی که بررسی کلی گنبد‌های شمال غرب صرف نظر از طبقه‌بندی آن‌ها، نشان می‌دهد که بین فاصله گسل‌های فرعی و مساحت گنبد‌ها رابطه مستقیم وجود دارد (جدول ۳). بنابراین ارتباط معکوس گنبد‌های داخل طاق‌دییسی می‌تواند به عواملی دیگری مثل ماگماتیسم، اختلاف چگالی و چین خوردگی‌ها مربوط باشد که در تشکیل گنبد‌ها دخالت دارند. چنانکه در نمودار شکل (ب) دیده می‌شود، ارتباطی بین مساحت گنبد‌های داخل طاق‌دیس و فاصله از گسل تبریز وجود ندارد. با توجه به جدول (۲) بیشتر گنبد‌های نمکی طاق‌دییسی از گسل تبریز فاصله قابل توجهی دارند، بنابراین تأثیرپذیری مساحت گنبد‌ها از گسل تبریز کمتر است.



شکل ۹: نمودار همبستگی بین مساحت با فاصله آن‌ها از نزدیک‌ترین گسل (الف) و مساحت با فاصله از گسل تبریز (ب) در گنبد‌های داخل طاق‌دیس و خط رگ‌سیون

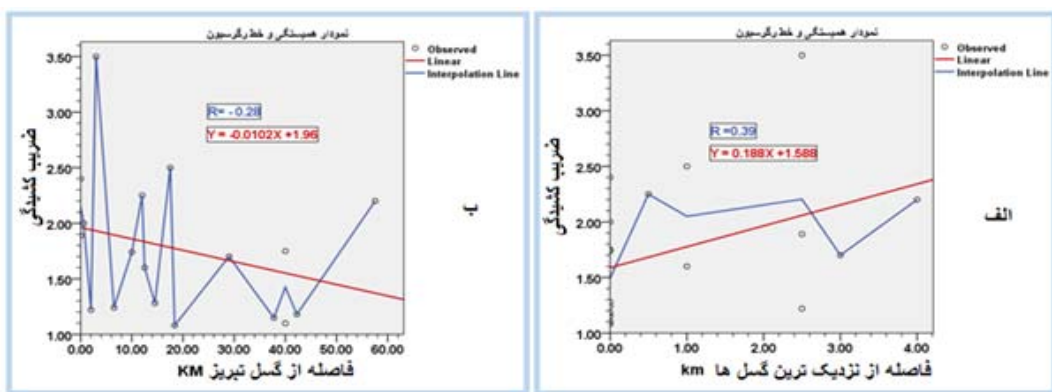
۲.۱.۲.۴. بررسی رابطه بین مساحت و ضریب کشیدگی گنبد‌های داخل طاق‌دیس‌ها با تراکم گسل‌ها
 بین تراکم گسل‌ها و ضریب کشیدگی با ضریب همبستگی ($R = 0.29$) رابطه معکوس خوبی وجود دارد (شکل الف ۱۰) و نشان می‌دهد در تراکم زیاد که گسل‌ها دارای جهت یافتگی متفاوتی هستند، گنبد‌ها به جای کشیدگی بالا، دایره‌واری بالایی دارند. بین مساحت گنبد‌های داخل طاق‌دیس با تراکم گسل‌ها رابطه معکوس ضعیفی با ضریب همبستگی ($R = -0.032$) وجود دارد.



شکل (۱۰): نمودار همبستگی تراکم گسل‌ها با ضریب کشیدگی (الف) و تراکم گسل‌ها با مساحت گنبدها (ب) در گنبدهای داخل طاق‌دیس و خط رگرسیون

۳.۱.۲.۴. بررسی رابطه بین ضریب کشیدگی با فاصله آن‌ها از نزدیک‌ترین گسل‌ها و گسل تبریز

با توجه به شکل (الف) (۱۱) بین ضریب کشیدگی گنبدهای داخل طاق‌دیس با فاصله آن‌ها از نزدیک‌ترین گسل با ضریب همبستگی ($R=0/۳۹$) رابطه مستقیم وجود دارد. در حالی که در مورد کل گنبدها بین ضریب کشیدگی و فاصله از نزدیک‌ترین گسل‌ها رابطه معکوس وجود دارد (جدول ۳). بنابراین در دایره‌واری و یا کشیدگی گنبدهای داخل طاق‌دیس‌ها عوامل مورفونز دیگری غیر از گسل‌ها دخالت دارند، اما بین ضریب کشیدگی گنبدهای داخل طاق‌دیس با فاصله آن‌ها از گسل تبریز با ضریب همبستگی ($R=-0/۲۵$) رابطه معکوس خوبی وجود دارد (شکل ۱۱)، که در کل گنبدها نیز اینچنین می‌باشد (جدول ۳). این مورد حاکی از تأثیرپذیری ضریب کشیدگی گنبدهای طاق‌دیس از گسل تبریز می‌باشد.

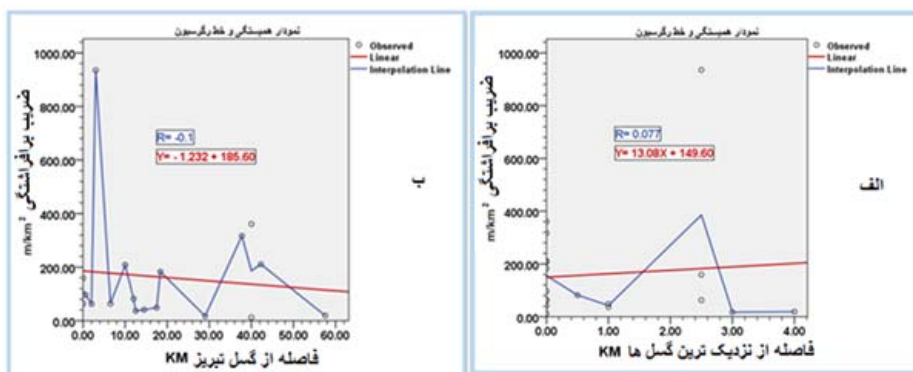


شکل ۱۱: نمودار همبستگی ضریب کشیدگی با فاصله آن‌ها از نزدیک‌ترین گسل‌ها (الف) و ضریب کشیدگی با مساحت (ب) در گنبدهای داخل طاق‌دیس و خط رگرسیون

۴.۱.۲.۴. بررسی رابطه بین برافراشتگی گنبدهای نمکی داخل طاق‌دیس با فاصله از گسل تبریز و

نزدیک‌ترین گسل

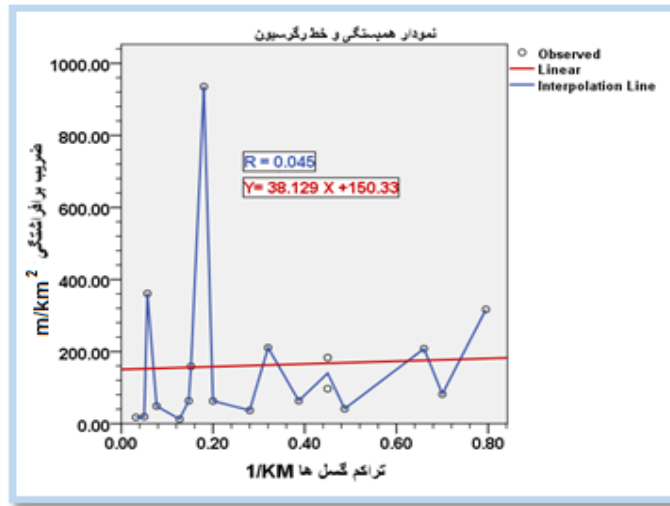
با توجه به شکل (الف) (۱۲) بین ضریب کشیدگی و فاصله از نزدیک‌ترین گسل با ضریب همبستگی ($R=0/۰۷۷$) رابطه مستقیم وجود دارد، در حالی که در کل گنبدها، بین این دو پارامتر رابطه عکس وجود دارد. بنابراین می‌توان اظهار کرد که ضریب کشیدگی گنبدهای داخل طاق‌دیس به عوامل دیگری هم بستگی دارد. در مورد ضریب برافراشتگی با فاصله از تبریز با ضریب همبستگی ($R=-0/۱$) رابطه عکس برقرار است (شکل ۱۲)، که حاکی از تأثیرپذیری این نوع طاق‌دیس‌ها از گسل تبریز است.



شکل ۱۲: نمودار همبستگی ضریب برافراشتگی با فاصله نزدیک‌ترین گسل‌ها (الف) و ضریب برافراشتگی با فاصله از گسل تبریز (ب) در گنبدهای داخل طاق‌دیس و خط رگرسیون

۵.۱.۲.۴. بررسی رابطه بین ضریب برافراشتگی گنبد های نمکی داخل طاق دیسی با تراکم گسل ها

مطابق شکل (۱۳) بین ضریب برافراشتگی گنبد های نمکی داخل طاق دیسی با تراکم گسل ها با ضریب همبستگی (R=۰/۰۴۵) رابطه مستقیم ضعیف وجود دارد. این امر نشان می دهد که تأثیر تراکم گسل ها بر مساحت گنبد ها کمتر از تأثیر آن بر ارتفاع نسبی آن ها است.



شکل ۱۳: نمودار همبستگی ضریب برافراشتگی گنبد های داخل طاق دیسی با تراکم گسل ها و خط رگرسیون

جدول (۳): ضریب همبستگی بین پارامترهای مورفومتری گنبد های ناودیس و طاق دیسی و کل گنبد ها

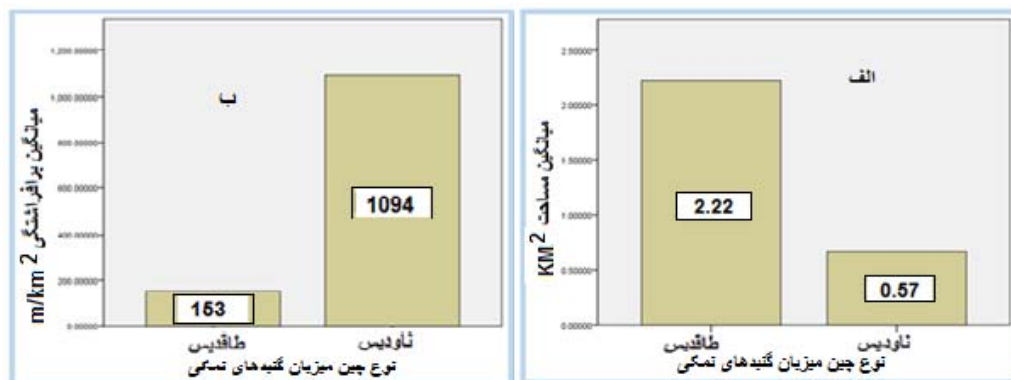
ردیف	همبستگی									
	گروه گنبد ها	مساحت باگسل تبریز	مساحت باگسل مجاور	مساحت با تراکم گسل ها	ضریب برافراشتگی با گسل مجاور	ضریب برافراشتگی با گسل تبریز	ضریب برافراشتگی با گسل مجاور	ضریب کشیدگی با گسل تبریز	ضریب کشیدگی با گسل مجاور	ضریب کشیدگی با تراکم گسل ها
۱	ناودیس	+0	+0.25	-0.032	-0.16	-0.138	-0.158	+0.071	+0.185	+0.038
۲	طاق دیسی	+0	+25	+0.032	+0.045	+0.077	-0.1	+0.32	-0.28	-0.29
۳	کل گنبد ها	+0.118	-0.017	-0.012	-0.066	-0.164	-0.238	-0.029	+0.077	+0.019

۵. مقایسه میانگین های پارامترهای گنبد های داخل ناودیس ها با گنبد های داخل طاق دیسی ها

بعد از بررسی روابط بین ویژگی های مورفومتری گنبد های داخل ساختارهای ناودیس و طاق دیسی با گسل ها، در ادامه بررسی تطبیقی و مقایسه ای بین ویژگی های هر دو ساختار ارائه می شود.

۱.۵. مقایسه میانگین ضریب برافراشتگی و مساحت گنبد های داخل ناودیس ها با گنبد های داخل طاق دیسی ها

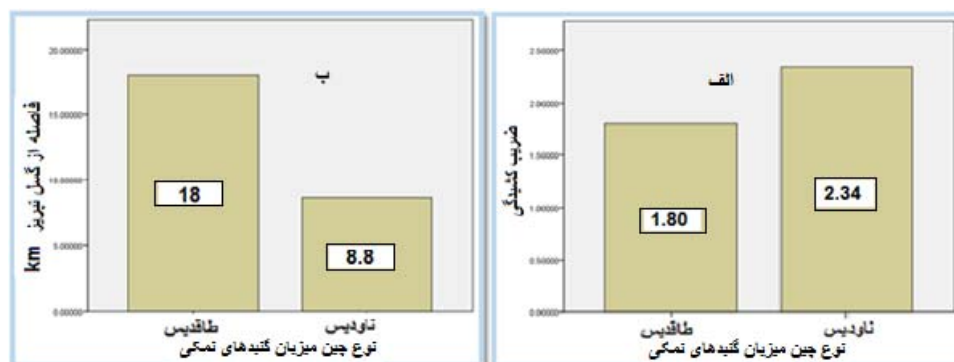
مطابق شکل (الف ۱۴) میانگین مساحت گنبد های داخل طاق دیسی ها ۳/۳۳ برابر بیشتر از مساحت گنبد های داخل ناودیس ها است و زیاد بودن مساحت گنبد های طاق دیسی به دلیل دوری این گنبد ها از گسل تبریز و تراکم بالای گسل ها است. مساحت بالا، موجب کم بودن ضریب برافراشتگی در گنبد های طاق دیسی نسبت به گنبد های ناودیس شده است.



شکل ۱۴: نمودار مقایسه میانگین مساحت (الف) و ضریب پراشندگی (ب) گنبد های داخل ناودیس با داخل طاقدیس

۲.۵. مقایسه میانگین ضریب کشیدگی و فاصله از گسل تبریز در گنبد های ناودیس با گنبد های طاقدیس

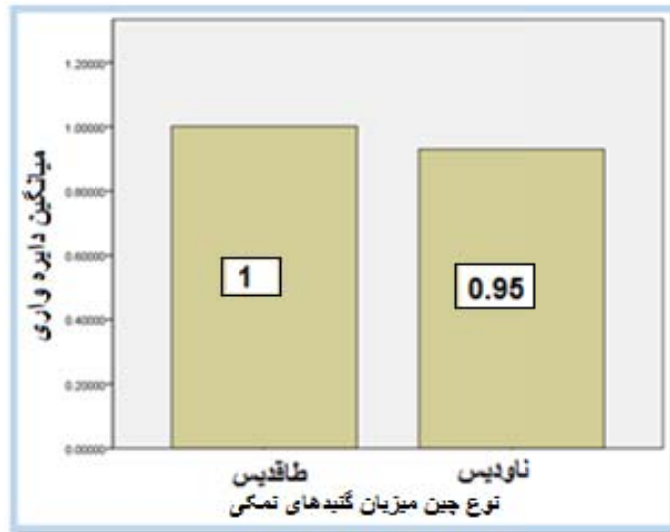
میانگین ضریب کشیدگی گنبد های داخل طاقدیس ها ۰/۷۷ و میانگین مساحت گنبد های داخل ناودیس ها است (شکل الف ۱۵) و در مقابل فاصله آن ها از گسل تبریز حدود ۲ برابر بیشتر از گنبد های ناودیس است (شکل ب ۱۵). این مطلب نشان از تأثیر پذیری بیشتر و کشیدگی گنبد های ناودیس نسبت به گنبد های نمکی طاقدیس در امتداد گسل تبریز است



شکل ۱۵: نمودار مقایسه میانگین ضریب کشیدگی (الف) و میانگین فاصله از گسل تبریز (ب) در گنبد های ناودیس با گنبد های طاقدیس

۳.۵. مقایسه میانگین دایره‌واری گنبد های داخل ناودیس با گنبد های داخل طاقدیس

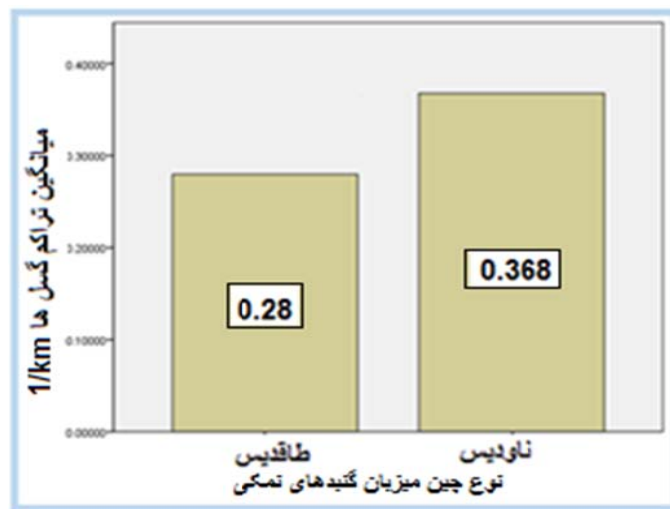
میانگین ضریب دایره‌واری بر عکس میانگین ضریب کشیدگی در گنبد های داخل طاقدیس ها ۱/۱۶ برابر بیشتر از میانگین ضریب دایره‌واری گنبد های داخل ناودیس ها است (شکل ۱۶). این امر به دلیل دوری این گنبد ها از گسل تبریز نسبت به گنبد های ناودیس می‌باشد.



شکل ۱۶ : نمودار مقایسه میانگین ضریب دایره‌واری در گنبد های داخل ناودیس ها با گنبد های داخل طاقدیس ها

۴.۵. مقایسه میانگین تراکم گسل ها در گنبد های داخل ناودیس ها با گنبد های داخل طاقدیس ها

میانگین تراکم گسل ها در گنبد های داخل طاقدیس ها ۰/۷۶ میانگین مساحت گنبد های داخل ناودیس ها است (شکل ۱۷). تراکم بالا موجب می شود که روباره ها به راحتی و در سطح بسیار بالا رانده شوند، در نتیجه مساحت گنبد ها زیاد و در عوض ضریب برافراشتگی و کشیدگی گنبد ها کم باشد



شکل ۱۷ : نمودار مقایسه میانگین تراکم گسل ها در گنبد های داخل ناودی ها با گنبد های داخل طاقدی ها

۵.۵. مقایسه میانگین فاصله از نزدیک ترین گسل

میانگین فاصله از نزدیک ترین گسل ها در گنبد های داخل طاقدیس ها ۰/۹۸ میانگین مساحت گنبد های داخل ناودیس ها است (شکل ۱۸). مساوی بودن فاصله گنبد ها از نزدیک ترین گسل ها (گسل های مجاور گنبد ها) موجب تأثیر یکسان این نوع گسل - ها در ویژگی های مورفومتری گنبد های ناودیس و طاقدیس می شود.



شکل ۱۸: نمودار مقایسه میانگین فاصله نزدیکترین گسل‌ها در گنبدهای داخل ناودیس‌ها با گنبدهای داخل طاقدیس‌ها

پارامترهای آماری دو گروه گنبدهای داخل طاقدیس، گنبدهای داخل ناودیس و کل گنبدها جهت مقایسه در جدول (۴) آمده است.

جدول ۴: مقایسه پارامترهای آماری گنبدهای داخل طاقدیس، گنبدهای داخل ناودیس و کل گنبدها

محیط km	تراکم گسل 1/km	دایره واری	فاصله از گسل km	فاصله از گسل تیریز km	برافراشتگی m/km	ΔH m	کشیدگی	مساحت km ²	پارامترهای مورفومتری شاخص های آماری
0.265	0.032	0.1	0	0	12.38	6	1.07	0.003	مینیمم کل گنبدها
12.7	1.66	2.66	4	57.56	4151	358	9.1	10.2	ماکزیمم کل گنبدها
3.013	0.33936	0.97	0.574	12.14	770.628	96.66	2.09	1.235	میانگین کل گنبدها
2.96	0.29	0.47	1.15	15.15	1117.36	78.32	1.35	2.25	انحراف معیار کل گنبدها
12.43	1.63	2.56	4	57.56	4138.6	352	8.03	10.2	دامنه تغییرات کل گنبدها
0.982	0.855	0.48	2.00	1.25	1.45	0.81	0.65	1.82	ضریب تغییرات کل
0.982	0.855	0.48	2.00	1.25	1.45	0.81	0.65	1.82	مینیمم داخل ناودیس‌ها
1.21	0.03	0.2	0	0	12.4	25	1.1	.12	ماکزیمم داخل ناودیس‌ها
0.36	0.89	8.34	0.43	7.98	1180	78.48	2.4	0.70	میانگین داخل ناودیس‌ها
4.+6	0.308	1.0	0.9	19.1	162.1	128	1.7	2.11	دامنه تغییرات داخل ناودیس
1.39	0.76	2.5	4.0	57.6	922.6	333.3	2.4	8.57	انحراف معیار داخل ناودیس
3.86	0.85	0.29	10	0.82	0.78	4.26	1	1	ضریب تغییرات داخل ناودیس
0.1	15	3	0	0	15.2	6	1.1	.003	مینیمم داخل طاقدیس‌ها
12.70	1.66	2.08	4.0	41.0	4151.00	288.00	9.10	10.20	ماکزیمم طاقدیس‌ها
4.6	0.31	1.016	0.94	19	160	129	1.8	2.2	میانگین داخل طاقدیس
2.45	.31	.44	1.02	11.89	1291.4	62.54	1.63	1.97	انحراف معیار داخل طاقدیس
12.43	1.60	1.98	4.00	41.00	4135.80	282.00	8.03	10.19	دامنه تغییرات داخل طاقدیس
1.18	0.86	0.5	2.32	1.48	1.12	0.8	0.67	2.81	ضریب تغییرات داخل طاقدیس

۶- نتیجه گیری

یکی از پدیده‌ها و لندفرم‌های جالب ژئومورفولوژی، گنبدهای نمکی است. از جمله نواحی دی‌پایریسم نمکی ایران، شمال غرب آن می‌باشد. با بررسی‌های میدانی بیش از ۵۰ گنبد نمکی در شمال غرب ایران شناسایی شده است که از بین آن‌ها ۴۸ گنبد در ابعاد قابل اندازه‌گیری اشکلی را به وجود آورده‌اند. در حالت کلی گنبدهای آذربایجان نسبت به سایر مناطق ایران کوچک، جوان و کم عمق‌تر بوده، اما دارای تراکم زیاد هستند. براساس محاسبات پژوهش حاضر، تراکم گنبدهای شمال غرب ایران ۳ برابر بیشتر و میانگین مساحت آن‌ها ۲۰ برابر کمتر از گنبدهای نمکی جنوب ایران است. از نظر تشکیلات زمین‌شناسی بیشتر

گنبد‌های نمکی شمال غرب ایران مربوط به سازند قرمز بالاییا سن میوسن، تعدادی از گنبد‌ها مربوط به سازند قمبا سن الیگو- میوسن و تنها یک گنبد مربوط به سازند قرمز زیرین با سن ائوسن می باشد. بررسی نوع چین‌های موجود در رسوبات تبخیری منطقه نشان می‌دهد که ابعاد چین‌های طاق‌دیس کوچک بوده و اغلب دچار فرسایش شده‌اند، در حالی که ناودیس- های منطقه بسیار بزرگ، سالم و دارای محور شیب‌دار هستند. بعد از شناسایی گنبد‌های نمکی شمال غرب و نوع چین میزبان آن‌ها، در تحقیق حاضر سعی شده تأثیر تفاوت‌های مورفومتری چین‌های میزبان بر ویژگی‌های کمی گنبد‌های نمکی داخل آن‌ها مشخص شود. برای این منظور گنبد‌های نمکی شمال غرب ایران با توجه به نوع چین میزبان به دو گروه، گنبد‌های نمکی داخل یا حاشیه ناودیس‌ها و گنبد‌های نمکی داخل طاق‌دیس‌ها، طبقه بندی شده و میزان و نوع روابط بین ویژگی‌های کمی هر گروه با گسل‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفته و سپس ویژگی‌های دو گروه با هم مقایسه شده‌اند.

نتایج مشخص می‌کند که بین اغلب پارامترها ارتباط نزدیکی وجود دارد. در مواردی نیز بین پارامترهای مورفومتری و گسل‌ها ارتباطی دیده نمی‌شود که این مسئله می‌تواند به دلیل دخالت عوامل دیگری غیر از گسل‌ها و چین خوردگی‌ها، مثل ماگماتیسم، ضخامت لایه نمکی، وزن روباره‌ها و غیره باشد.

در حالت کلی اکثر گنبد‌های نمکی داخل ناودیس‌ها دارای ساختار تک‌شیبی بوده و نسبت به گنبد‌های داخل، طاق‌دیس‌ها بیشتر تحت تأثیر گسل‌ها هستند، در نتیجه به تبعیت از آن‌ها دارای ضریب کشیدگی زیادی می‌باشند. از سویی دیگر به خاطر این که نمک به راحتی توانسته در امتداد گسل‌ها بالا بیاید، موجب بالازدگی روباره در سطح زیاد نشده و در نتیجه مساحت گنبد‌های نمکی داخل ناودیس‌ها کمتر و در مقابل ضریب برافراشتگی آن‌ها زیاد است. در مقابل، گنبد‌های نمکی داخل ساختارهای طاق‌دیس فاصله زیادی از گسل تبریز دارند و به این خاطر ویژگی‌های مورفومتری آن‌ها کمتر تحت تأثیر گسل‌ها بوده و لذا دارای مساحت زیاد است، اما ضریب برافراشتگی و ضریب کشیدگی کمتر می‌باشند.

منابع

- اسدیان، فریده، محسن پور کرمانی و مهران‌آرین، (۱۳۸۶)، ژئومورفولوژی ساختمان یساختارهای نمکی در گستره گرمسار، لاسجرد، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، تابستان، ص ۷۵-۸۴.
- بیتس، ل. (۱۳۶۹)، زمین‌شناسی سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی، چاپ دوم، ترجمه صمد علیپور، انتشارات جهاد دانشگاهی ارومیه، ص ۳۶۵.
- پتی، جان، جان فرنسیس، (۱۳۶۹) - سنگ‌های رسوبی و شیمیایی و بیوشیمیایی، چاپ دوم، ترجمه محمد حسین آدابی، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۳۴۴.
- پور کرمانی، محسن، احمدادیب، (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ساختمان، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه پیام‌نور، ص ۲۸۷.
- ثروتی، محمدرضا، (۱۳۸۱)، ژئومورفولوژی منطقه‌ای ایران، انتشارات سازمان جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، ص ۱۵۷.
- جلیل‌پور، محمد، (۱۳۹۰)، بررسی ساختاری گنبد نمکی خواجه در شمال شرق تبریز با هدف بررسی امکان ذخیره سازی گاز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز، استادان راهنما محسن مؤید و زمانی، ص ۱۷۲.
- درویش‌زاده، علی، (۱۳۶۹)، ویژگی‌های زمین‌شناسی نمک‌های اینفراکامبرین خلیج فارس، مجموعه مقالات دپایپریم، جلد اول، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۱۰۸-۸۱.
- رجبی، معصومه، مریم بیاتی خطیبی، (۱۳۹۰)، ژئومورفولوژی شمال غرب ایران، انتشارات دانشگاه تبریز، ص ۲۷۸.

- رجیبی، معصومه، علیشیری طرزم، (۱۳۸۸)، تکتونیک نمکی و آثار ژئومورفولوژیکی آن در آذربایجان، مطالعه موردی: گنبدهای نمکی شمال غرب تبریز، فصل‌نامه جغرافیا و توسعه، سال هفتم، شماره پیاپی ۱۶، ص ۴۷-۷۰.
- زمردیان، محمد جعفر، (۱۳۸۱)، ژئومورفولوژی ایران، جلد ۱، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه فردوسی، ص ۲۷۶.
- ساکت، علی، (۱۳۸۴)، گنبدهای نمکی ایران، سایت پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، ص ۷۸.
- شیرینی طرزم، علی، (۱۳۸۵) - پژوهشی در ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی حوضه سنخ چای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز، استاد راهنما معصومه رجیبی، ص ۲۱۵.
- صیرفیان، علی، (۱۳۷۱)، زمین‌شناسی نفت، انتشارات ذره اراک، ص ۳۰۷.
- مدنی، حسن، (۱۳۶۹)، زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک، چاپ دوم، انتشارات دفتر مرکزی جهاد دانشگاهی، ص ۶۵۹.
- Billings, M. P. (2003), **Structural Geology**, Third Edition, Prentice Hall, New Jersey, pp 606.
- Davoudzadeh.M (1990), **Some Aspects Of The Salt Diapirism In The Southern Iran**, Proceeding of Symposium on Diapirism with special reference to Iran, Geol. Survey, Vol 2, pp. 97-107.
- Jackson, M.P.A & Talbot, C.J (1960) **Advances In Salt Tectonics**, Continental Deformation, Ed, by P.L. Hancock, Pergamum press Ltd, Oxford, pp 173-176.
- Jenyon .M. K. (1986), **Salt Tectonics**, Elsevier, pp 191.
- Lerche.I, O'Brien J.J. (1987), **Dynamical Geology of Salt and Related Structures**, Academic press, Inc., Orlando, p 832.
- Kent .P.E. (1987), **In Dynamical Geology Of Salt And Related Structures**, Ed by Lerche.I, O'Brien J.J, pp.3-37.