مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال سوم، شماره چهارم، بهار ۹۳
تاریخ دریافت مقاله:۹۲/۰۵/۲۱
تاریخ پذیرش مقاله:۹۳/۰۱/۲۶

# ارزیابی شواهد ژئومورفولوژیک برای گودال برخوردی احتمالی زیروکی در سیستان و بلوچستان، جنوبشرق ایران

**محمدرضا منصوری دانشور[1]، سمیه رضایی[2]**

## چکیده

**با وجود مطالعات گسترده‌ی انجام شده درباره‌ی پدیده های ژئومورفولوژی ایران، تا کنون بررسی گودال های برخوردی مورد توجه قرار نگرفته است. در این مقاله بر اساس روش های سنجش از دور و برداشت های میدانی، یک ساختار گودالی شکل در دشت سمسور در جنوب شرقی ایران مورد ارزیابی قرار گرفت که پیش از این توسط "منصوری دانشور و باقرزاده" در سال های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ به عنوان یک گودال احتمالی حاصل از برخورد شهاب سنگی معرفی شده است. گودال زیروکی توسط "باراتوکس و همکاران" در سال ۲۰۱۲ به عنوان یک سایت دارای پتانسیل برخورد معرفی شده و در آگوست ۲۰۱۳ به عنوان تنها گودال برخوردی شهابسنگی امکان پذیر و قابل تأیید در ایران در پایگاه تخصصی ساختارهای برخوردی جهان (دانشنامه مخاطرات طبیعی دانشگاه نووسی بیرسک، روسیه) ثبت گردید. اگر این گودال به عنوان گودال برخوردی تأیید شود آنگاه اولین نمونه‌ی در ایران و سومین نمونه آن درخاورمیانه پس از "وبار" در عربستان و "جبل وقف الصوان" در اردن خواهد بود. ارزیابی گودال زیروکی با استفاده از تفسیرهای سنجش از دور ژئومورفولوژیکی و در سطوح مختلف مطالعات توپوگرافی، ژئوفیزیک، زمین شناسی، و پتروگرافی به انجام رسیده است. مهمترین نتایج حاصل شده از این تحقیق نشان دهنده‌ی ساختار واضح گودالی شکل با لبه های برآمده و توپوگرافی برجسته مرکزی می باشد. همچنین اطلاعات ژئوفیزیک به خوبی نشان دهنده‌ی یک بی هنجاری ثقلی منفی و دایره ای شکل منطبق بر گودال است که آن را از پدیده های آذرینی و دیگر شکل های فرسایشی متمایز می سازد.**

**کلید واژه ها: ساختارهای برخوردی، ژئومورفولوژی، بی هنجاری ثقلی، شهابسنگ، گودال زیروکی**

[1]-دانشجوی دکترای اقلیم شناسی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان **mrm_daneshvar2012@yahoo.com**
[2]- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، دانشگاه سیستان و بلوچستان **s_rezayi2012@yahoo.com**

**مقدمه**

نیروهای سازنده‌ی ژئومورفولوژی زمین همچون تکتونیک، ولکانیسم، فرسایش، آب و هوا همواره درطول دوران - های زمینشناسی اثرات سطحی و نادری همچون بقایای برخوردهای شهاب سنگی را تغییر داده و یا از میان برده اند. به همین دلیل است که زمین شناسان بندرت احتمال وجود گودال های برخوردی را میپذیرند *(Koeberl, 2004)*. امروزه گودال های برخوردی به عنوان ساختارهای زمین شناسی ویژه با شکل دایره ای، دگر شکلی وسیع، توده های آذرینی، مواد معدنی کمیاب، نهشته های هیدروکربنی، پرتابه های پاشیده شده، سنگهای دگرگون شده برشیا و همچنین سیمای خاص بیولوژیک تشخیص داده می شوند *(French and Koeberl, 2010)*. البته شکل ظاهری همه گودالهای برخوردی یکسان نیست و شامل انواع فرمهای دایرهای شکل، الگوهای توپوگرافی تغییر شکل یافته، شکستگی ها و دگرگونی های گسترده، بی هنجاری های مغناطیسی و ثقلی دایره ای و وجود حجم گسترده ای از واحدهای آذرینی می گردد *(French and Koeberl, 2010)*.از طرفی باید توجه داشت برخی از پدیده های زمین شناسی و ژئومورفولوژیک مشابه با گودال های برخوردی می توانند حاصل فرایندهای شناخته شدهای همچون دگرشکلی تکتونیکی، بقایای گنبدهای نمکی، فوران آتشفشانی، برونزد توده های آذرینی، پدیده های کارستی و اثرات فرسایشی باشند *(Koeberl, 2002; Langenhorst, 2002)*.اما مهمترین ویژگی معرف گودالهای برخوردی شامل به دست آوردن مجموعه ای از اثرات ناشی از امواج تصادم بر روی زمین می باشد که به طور مشابهی در ساختارهمه گودال های برخوردی قابل تشخیص است *(Grieve et al, 1996)*. تا سال ۲۰۱۰ پایگاه دادههای ساختارهای برخوردی مثل پایگاه تخصصی ساختارهای برخوردی جهان (دانشنامه مخاطرات طبیعی دانشگاه نووسی بیرسک، روسیه)[1]، بیش از ۲۲۵۰ ساختار احتمالا مرتبط با گودال های برخوردی را در ۵ سطح رد شده/قابل اعتراض (Rejected/ Disputative)، قابل تردید (Doubtful)، احتمالی (Possible)، امکان پذیر و قابل تأیید (Probable)، و قطعی/تأیید شده (Proven/ Confirmed)برای دنیا معرفی کرده اند. از این میان فقط حدود ۱۷۶ گودال برخوردی بر مبنای معیارهای دقیق سنجش از دور و مطالعات میدانی مورد پذیرش قطعی دانشمندان قرار گرفته است *(Williams and Gostin, 2010)*.که در پایگاه ساختارهای برخوردی جهان (مرکز علوم فضا و زمینی دانشگاه نیوبرانزویک، کانادا)[2]منعکس شده اند. بررسی پیوسته پدیده های برخوردی امکان شناسایی سایتهای جدید و جذابی را بویژه در مناطق زمین شناسی غیر کریتونیک فراهم میکند که پیش از این ناشناخته بوده اند. توزیع جهانی گودال های برخوردی شکلی تصادفی ندارد. آنها غالبا در مناطق زمین شناسی کریتونیک مثل آمریکای شمالی، استرالیا و اسکاندیناوی، پراکنده هستند. البته تعداد کمی از ساختارهای برخوردی خارج از مناطق یاد شده وجود دارند که یا تحت اثر فعالیت های درونی زمین فرسایش یافته اند و یا در مناطق دور افتاده یا خارج از دسترس واقع شده اند *(McCall, 2009)*. علاوه بر این امروزه با به کارگیری نرم افزارهایی همچون (Google Earth)این امکان فراهم شده تا گزارش های مربوط به شناسایی گودال های برخوردی رو به ازدیاد بگذارد ، لذا با استفاده از این تکنیک به همراه روش های سنجش از دور می توان ارزیابی های عمومی خوبی را پیرامون ساختارهای احتمالاً برخوردی به عمل آورد *(Pati and Reimold, 2007)*. بر این اساس یک ساختار دایره ای شکل با نام زیروکی

**1-http://www.tsun.sscc.ru/nh/impact.php**
**2-http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase**

(Zirouki) در دشت سمسور (Samsour) استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرق ایران شناسایی گردید که پیش از این توسط "منصوری دانشور و باقرزاده" در سال های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ به ترتیب در دومین کنفرانس گودال - های برخوردی و اختر زمین شناسی کشورهای عرب *(MansouriDaneshvar and Bagherzadeh, 2011)*و مجله‌ی پردازش اطلاعات علوم زمین *(MansouriDaneshvar and Bagherzadeh, 2013)*به عنوان یک گودال احتمالی حاصل از برخورد شهاب سنگی معرفی شده است. این گودال که توسط "باراتوکس و همکاران" هم در سال ۲۰۱۲ به عنوان یک سایت دارای پتانسیل برخورد معرفی شده *(Baratoux et al, 2012)* در آگوست ۲۰۱۳ به عنوان تنها گودال برخوردی شهابسنگی امکان پذیر (Probable)و قابل تأیید در ایران در پایگاه تخصصی ساختارهای برخوردی جهان (دانشنامه‌ی مخاطرات طبیعی دانشگاه نووسی بیرسک، روسیه) ثبت گردید [1]. خلاصه ی نتایج بررسیهای صورت گرفته در مورد این گودال در طی دو سال گذشته نیز بارها در وبلاگ ژئومورفولوژی و برنامه - ریزی محیطی منعکس شده است[2]. این گودال اگر به عنوان یک ساختار برخورد شهابسنگی مورد تأیید قطعی قرار گیرد، اولین نمونه در ایران و سومین نمونه از این دست در خاورمیانه پس از گودال وبار (Wabar)در عربستان سعودی *(Holm, 1962)*و گودال جبل وقف الصوان (Jebel Waqf as Suwwan) در اردن هاشمی *(Salameh et al, 2006)* خواهد بود.

## طرح مسأله

بزرگترین گودالهای برخورد شهابسنگی جهان از قبیل گودال سودباری (Sudbury)کانادا و گودال وِردفورت (Vredefort) آفریقای جنوبی با میانگین قطر ۲۰۰-۱۵۰ کیلومتری به صورت اصابت هایی مطرح هستند که احتمالاً در دوره‌ی زمانی بین یک تا دو میلیارد سال پیش زمین را آماج خود قرار داده اند *(Reimold and Gibson, 2006)* به همین ترتیب گودال چیکسولوب (Chicxulub) خلیج مکزیک به قطر احتمالی دویست کیلومتر نیز ناشی از اصابت شهاب سنگی در ۶۵ میلیون سال پیش بوده که منجر به انقراض دایناسورها شده است. نمونه ی تیپیک گودالهای برخورد شهابسنگی عهد حاضر کواترنری به کراتر بارینگر (Barringer) واقع در آریزونای آمریکا به قطر ۱.۲ کیلومتر مربوط است که سن آن به چهل تا پنجاه هزار سال پیش بازمیگردد. معمولاً گودال های با قطر کمتر از چهار کیلومتر وجه فرسایش یافته کمتری دارند و علاوه بر بارینگر در آمریکا می توان به لونار (Lonar) در هند و وُلف کریک (WolfeCreek) در استرالیا اشاره کرد. این گودال های شهابسنگی اکثراً در دوره ی زمانی حدود صد هزار سال و کمتر به وقوع پیوستهاند که حادث شدن برخوردهای آسمانی در این بازه‌ی زمانی به دلیل مقارن بودن با تاریخ پیدایش انسان هوموساپینس (هوشمند) اهمیت علمی بیشتری دارد. از سویی تأثیرات احتمالی قابل تحقیق اقلیمی و ژئومغناطیسی این برخوردها بویژه پیدایش اعصار یخبندان، وقایع مرتبط با زلزلهها و شکستگیهای تکتونیکی، پیشبینی برخی اتفاقات در ارتباط با ناهنجاریهای زمین شناسی و مدل سازی نوع برخوردها مورد توجه ویژه طبیعی دانان و زمین شناسان می باشد که در این زمینه می توان به بررسی های مربوط به مدل سازی زمین

**1-Expert Database on Earth Impact Structures (EDEIS)**
**2- http://www.mrmd.blogfa.com**

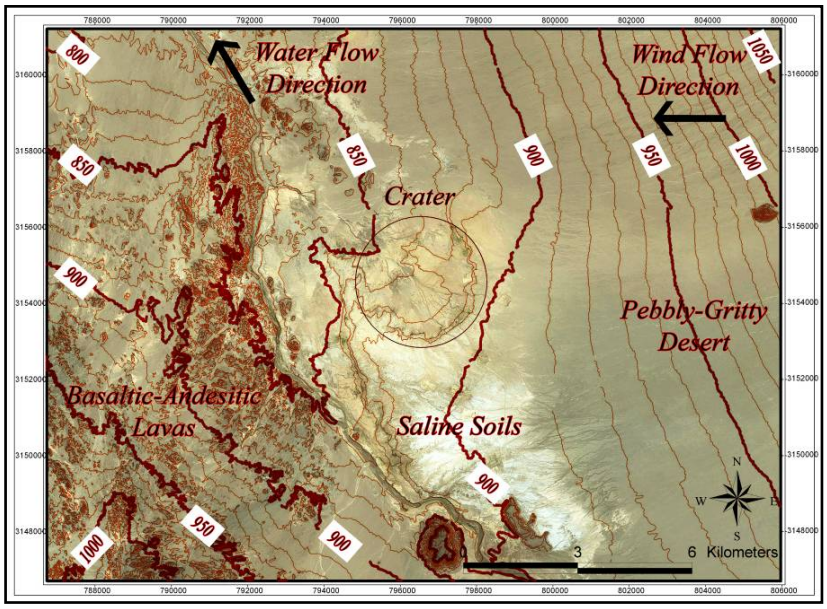
شناسی برخوردهای شهابسنگی در جهان توسط "اوسینسکی " در سال ۲۰۰۷ اشاره کرد *(Osinski, 2007)*. مطالعات مربوط به شناسایی گودال های برخورد شهابسنگی [1] و اثرات ژئومورفولوژیک و دگرشکلی ناشی از برخورد شهابسنگها از سری تحقیقات و پژوهشهایی است که به طور علمی و تدوین شده در چند دهه اخیر مورد توجه مشترک زمینشناسان و شهابسنگشناسان دنیا قرار گرفته است. در این زمینه حداقل میتوان به دو مرجع بسیار ارزشمند علمی اشاره کرد. یک مورد مربوط به کتاب "تأثیرات کاتاستروف (پدیده های ناگهانی)" نوشته‌ی "فرنچ " در سال ۱۹۹۸ می باشد *(French, 1998)*که به تفصیل در رابطه با اثرات دگرشکلی در گودالهای برخورد شهابسنگی بر روی زمین بحث کرده است و مورد دوم مربوط به مقاله "شناسایی دقیق ساختارهای زمینی برخورد شهابسنگی " نوشته "فرنچ" و "کوئبرل" در سال ۲۰۱۰ می باشد *(French and Koeberl, 2010)*که فرآیندهای میدانی در شناسایی این پدیدهها را تشریح میکند. با وجود این در ایران علیرغم سابقه ی مطالعات زمین شناسی و تهیه ی نقشههای عملیاتی پوششی زمین شناسی و توپوگرافی برای کل کشور، بحث بررسی گودالهای برخورد شهابسنگی چندان مورد توجه قرار نگرفته است. ایران عملاً بر روی کمربند فعال تکتونیسم جهانی قرار دارد و در آن شواهد ژئومورفولوژیک فراوانی از مظاهر و چشمه های گسلی و دهانههای آتشفشانی دیده میشود. از این رو تا کنون عمده ی تحقیقات و تدوین نقشهها بر محوریت این فرآیندها صورت گرفته است و پدیده های احتمالی مرتبط با شهابسنگها نیز یا نادیده انگاشته شدهاند و یا در زمره سایر پدیدههای زمینشناسی طبقه بندی شدهاند. تنها دو گزارش قدیمی و فراموش شده وجود دارند که معطوف به ساختارهای شبه برخوردی در ایران بوده اند. یک مورد توسط "اسکرین " مستشار انگلیسی در سال ۱۹۳۱ به عنوان چاله احتمالاً شهابسنگی گوهرکوه (Gwar-Kuh) و به قطر ۴۵ متر در جنوب شرقی ایران معرفی گردید *(Skrine, 1931)*،که در مطالعات بعدی توسط "اسپنسر" بریتانیایی به کلی رد شد *(Spencer, 1933)* و امروزه مشخص شده که احتمالاً مربوط به یک چاله شبه کارستی (Sinkhole) بوده است. مورد دیگر نیز گزارشی درباره گودال قلعه حسنعلی (Qal'eh-Hasanali) به قطر ۱.۱ کیلومتر به همراه چهارده گودال کوچک دیگر پیرامون آن در منطقه راین استان کرمان بود که ابتدا توسط "گویکوویچ " زمین شناس یوگسلاوی در سال ۱۹۷۳ به عنوان گودال برخوردی شناسایی گردید *(Gojković, 1973)* اما با مطالعات کامل تر "میلتون" آمریکایی در سال ۱۹۷۶ به عنوان دهانه‌ی آتشفشانی (Maar)معرفی شد *(Milton, 1976)*.

**محدوده‌ی مطالعاتی**

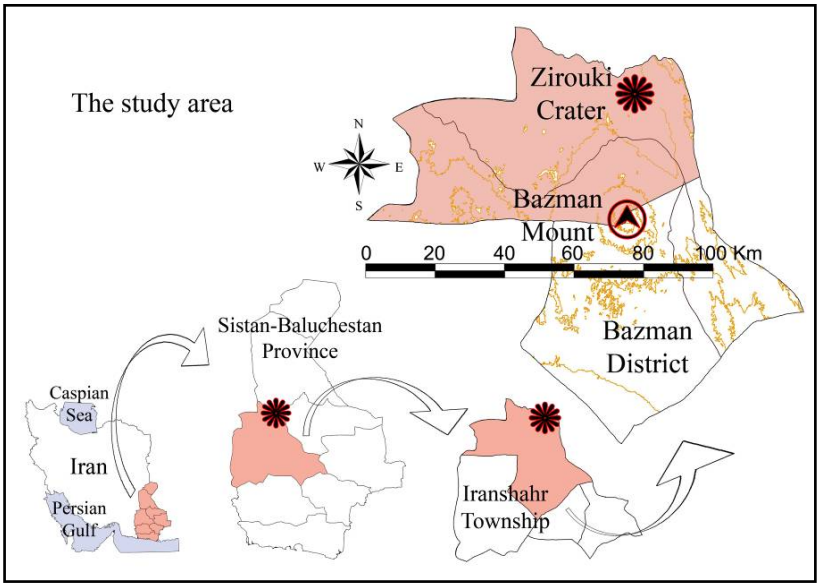
ساختار دایرهای شکل زیروکی در دشت سمسور استان سیستان و بلوچستان و در جنوب شرق ایران واقع شده است. این ساختار با قطر ۳۵۰۰-۳۰۰۰ متری و عمق ۵۰-۳۰ متری در مختصات جغرافیایی "28°28'28 تا "28°29'58 عرض شمالی و "60°00'41 تا "60°02'47 طول شرقی و در ارتفاع ۸۵۰ تا ۹۰۰ متری از سطح دریاهای آزاد قرار گرفته است (شکل ۱). این گودال به لحاظ تقسیمات سیاسی در غرب استان سیستان و بلوچستان و در شهرستان ایرانشهر، بخش بزمان، دهستان آب رئیس قرار دارد(شکل ۲). این محدوده بیرون از مناطق جمعیتی استان سیستان و بلوچستان قرار دارد و تنها آبادی نزدیک به آن روستای "خیرآباد" با جمعیت حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰

**1- Meteorite Impact Craters**

نفر در یک کیلومتری جنوب آن است. نزدیکترین شهرها به منطقه را نیز شهر نوک آباد در شرق و شهر بزمان در جنوب منطقه تشکیل میدهند که فاصله مستقیم هوایی آنها تا مرکز گودال برخوردی حدود هفتاد کیلومتر میباشد. همچنین فاصله مستقیم هوایی منطقه تا شهر خاش ۱۲۰ کیلومتر، تا شهر زاهدان ۱۴۰ کیلومتر و تا شهر ایرانشهر ۱۵۵ کیلومتر میباشد. مهمترین عوارض طبیعی پیرامون این گودال را دو تپه بازالتی به فاصله هفت کیلومتری جنوب گودال، کوه آتشفشان نیمه فعال بزمان در پنجاه کیلومتری جنوب منطقه و رشته ارتفاعات گسلی کهورک- نصرت آباد با روند عمومی شمالی- جنوبی در بیست کیلومتری شرق تشکیل می دهند.




**شکل ۱: جایگاه گودال زیروکی بر روی تصویر ماهواره ای**




**شکل ۲: موقعیت گودال زیروکی در تقسیمات سیاسی استان سیستان و بلوچستان**

این محدوده به دلیل فرسایش آبی و بادی رخ داده و پر شدن از رسوبات منطقه در نقشه های زمین شناسی با لیتولوژی آبرفتی و رسوبی تشخیص داده شده است و لاواهای آتشفشانی و روانههای بازالتی بزمان نیز بویژه در غرب منطقه قابل مشاهده است. البته به طور خاص زون آتشفشانی غرب محدوده دارای سن میوسن است ، ولی دو تپه بازالتیاولیویندار به سن پلئیستوسن به طور منفرد در چند کیلومتری جنوبگودالچهرهشاخصیبهخودگرفتهاند. مسیر دسترسی اصلی به منطقه را می توان از شهر بزمان واقع در جنوب منطقه در نظر گرفت به طوری که از میدان مرکزی شهر بزمان تا سه راهی "سمسور" حدود شصت کیلومتر راه زمینی طی می شود و سپس با ورود به محور فرعی در ضلع شمالی، مسیر پس از طی حدوداً بیست کیلومتر به دو تپه تخت بازالتی قهوهای رنگی ختم میشود که پس از آن با ادامه مسیر پیچ و خم دار شش کیلومتری به سمت شمال به لبه جنوب شرقی گودال زیروکی دسترسی حاصل می شود. همچنین عبور رودخانه فصلی با بستر سیلابی وسیع حدوداً صد متری از مجاورت غربی گودال نیز از عوارض مهم طبیعی دیگر آن به شمار می رود. از نظر اقلیمی نیز طبق داده های (WorldClim) منطقه مطالعاتی دارای بارش سالانه ۸۵تا ۹۰میلیمتر و دمایمتوسطسالانه۲۲تا۲۳درجه سانتیگراد است *(Hijmans et al, 2005)* که نماینده یک اقلیم خشک با شرایط فرسایش بیابانی است.

## روش تحقیق

سیمای دایره ای شکل یک گودال برخوردی بایستی الگوهای دایره ای شکل از توپوگرافی، ژئومورفولوژی، زمین شناسی و آنومالی ژئوفیزیکی را نشان دهد. در ادبیات مطالعات برخوردی در گام اول بررسی و سنجش از دور بر

مبنای تصاویر سنجنده هایی مثل MODIS[1] از ماهواره های خورشید آهنگ Terra و Aqua و یا مدل رقومی ارتفاعی DEM[2] بر مبنای تصاویر SRTM[3] به انجام می رسد. سپس بررسی های توپوگرافیکی و زمین شناسی به انجام می رسند. با انطباق مرز پایه محدوده‌ی مطالعاتی گودال برخوردی بر روی موزائیک نقشه های توپوگرافی سازمان نقشه برداری، ملاحظه شد که محدوده ی مداخله طرح در برگه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰۰۰ زیروکی و در برگه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ جهیل آباد به شماره 80464 قرار گرفته است. همچنین این منطقه بر روی نقشه های زمین شناسی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ۱:۱۰۰۰۰۰ در برگه های زیروکی و کورین به شماره های 8046 و 8047 قابل تعیین حدود است. داده های ژئوفیزیکی مورد استناد تحقیق نیز از داده های پردازش شده پروژه ژئوفیزیک هوابرد ایران از پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور[4] گرفته شده است که نقشه های خروجی و رنگی این پروژه برای تفسیر ساختارهای ناحیه ای، محصول پردازش ترازهای میدان مغناطیسی برگردان به قطب (Pole Reduce)می باشد. مشاهدات سنجش از دور و مطالعات زمین شناسی به طور عام در تعیین مقر و شناسایی ساختارهای برخوردی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. با این حال ارزیابی جامع و منحصربه فردی را از یک ساختار برخوردی ارائه نمی دهند از این رو انجام برداشت های میدانی، مشاهدات ژئومورفولوژیکی و نمونه برداری امری ضروری خواهد بود. لذا در گام دوم، بایستی وجود اثرات ناشی از امواج برخورد را در واحدهای سنگی لبه گودال، برجستگی مرکزی در مورفولوژی گودال، لایه های مواد مذاب و برشیا در درون گودال، سنگ های پرتابی و آواری در پیرامون گودال و نیز کشف تکه هایی احتمالی از شهاب سنگ اولیه را تأیید کند. معمولاً سیمای ظاهری یک گودال برخوردی در اثربرخی از فرایندهای ژئومورفولوژیکی همچون هوازدگی، فرسایش و رسوب گذاری، دگرگونی (متامورفیسم) و فعالیتهای تکتونیکی و کوهزایی (ولکانیسم) تغییر پیدا کرده و وضوح خود را از دست میدهند. لذا در گام سوم باید اثرات ژئوشیمیایی در بقایای احتمالی یک برخورد به انجام برسد. در این مرحله شواهد پتروگرافی و ژئوشیمیایی نمونه های جمع آوری شده از گودال بر مبنای آزمایش هایی همچون XRF ضرورت پیدا میکند. در تحقیق حاضر برداشت های میدانی در طی چند روز از تابستان سال ۲۰۱۱ در پیرامون گودال تا مرکز برآمده آن به انجام رسید و چندین نمونه ازسنگ های مظنون به داشتن شواهد برخورد، جمع آوری گردید و در نهایت آزمایش XRF بر روی یکی از آنها انجام شد.

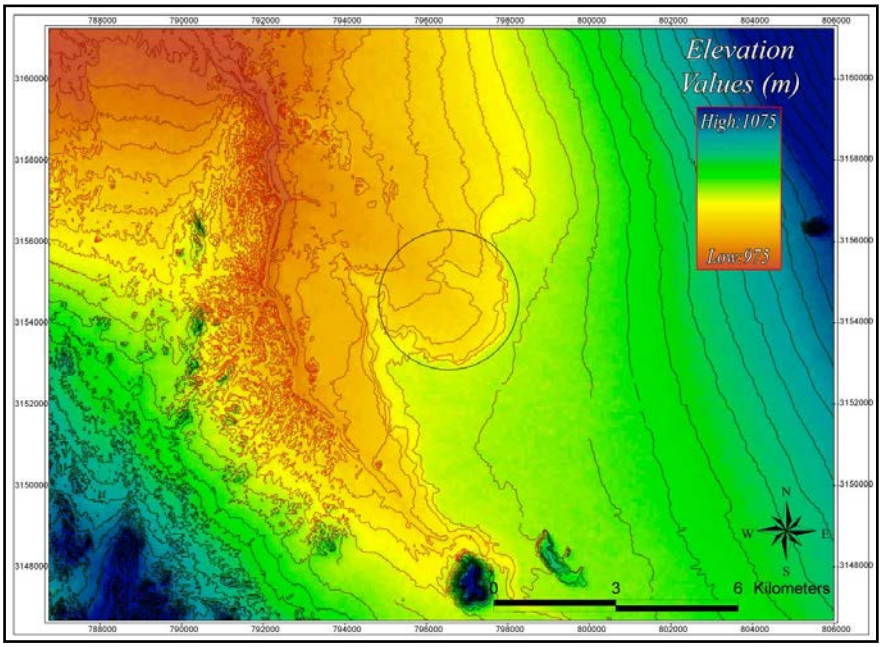
## بحث و یافته ها

### بررسی های سنجش از دور

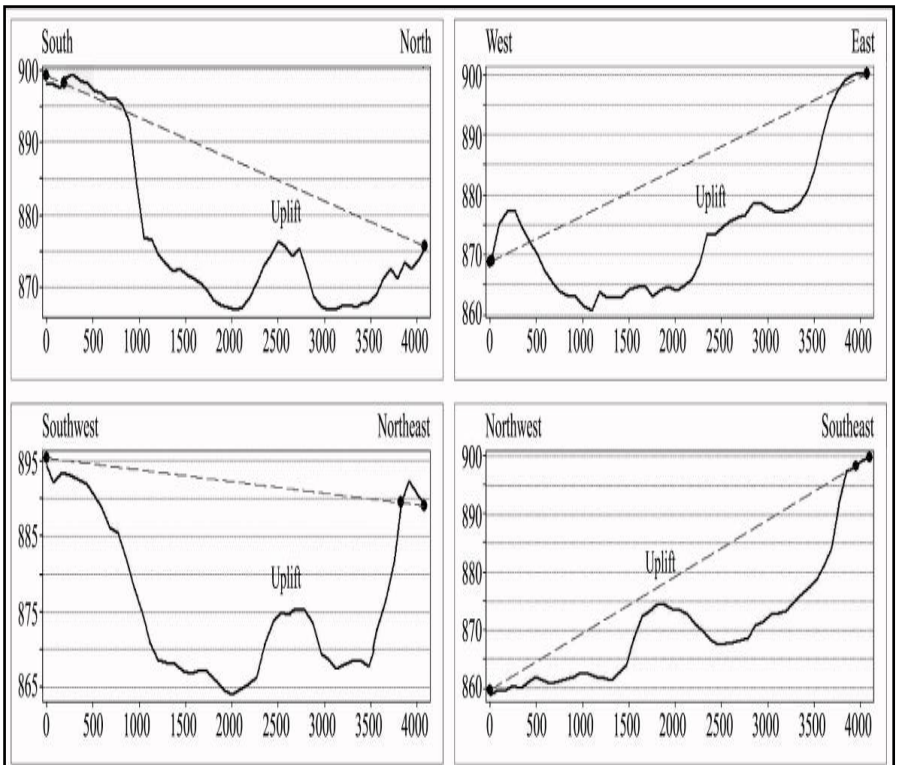
تحلیلهای فضایی ساختار مورد مطالعه بر مبنای نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) و در نرم افزار Arc-GIS نشان داد که مورفولوژی گودالی شکل ساختار مورد مطالعه به طور کامل و با اختلاف ارتفاع مشخصی، مشهود است (شکل ۳). استخراج پروفیل های توپوگرافیکی از DEM علاوه بر تأیید تغییرات ارتفاعی حدوداً چهل متری، نشان داد که در

**1-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)**
**2- Digital Elevation Model (DEM)**
**3- Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**
**4-http://www.ngdir.ir/Geomatics/PGeophysics.asp**

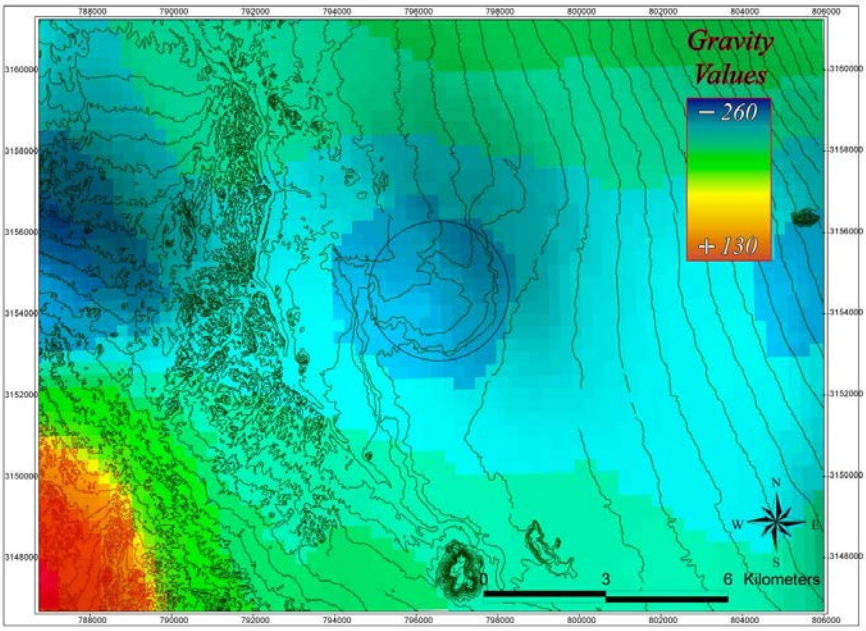
چهار جهت مختلف، ساختار گودالی شکل با لبه های برآمده و برجستگی مرکزی قابل تشخیص است (شکل ۴). تا این مرحله وجود یک گودال مشابه با سازوکار تصادمی قابل تأیید است. در ادامه ارزیابی ژئوفیزیکی گودال به انجام رسید که بر مبنای داده های ژئوفیزیک هوابرد وجود یک ساختار دایره ای شکل آشکار شد به طوری که بی هنجاری گرانشی منفی به میزان حدوداً ۱۳۵- میلی گال به شکل متمرکز بر روی این ساختار مشاهده می شود (شکل ۵). این موضوع یکی از شواهد ارزشمند در ارزیابی گودال های برخوردی به شمار می رود اما در ادامه ی بررسیهای سنجش از دور گودال زیروکی، مطالعات ساختاری و زمین شناسی آن باید به انجام برسد تا ثابت کند ارتباطی با دیگر فرآیندهای زمینی و یا فرآیندهای درونی زمین ندارد *(Howard and Haines, 2007)*. بر پایه‌ی نقشه های زمین شناسی، آتشفشان نیمه فعال بزمان در پنجاه کیلومتری جنوب این ساختار قرار دارد. لاواهای آتشفشانی ناشی از عملکرد بزمان، بخش های گسترده ای از غرب منطقه را پوشانده است، این در حالی است که ساختار مطالعاتی ما با پوشش رسوبات حجیم آبرفتی و سیمای ظاهری خود شباهتی به یک ساختار آتشفشانی ندارد. از طرفی لبه های این ساختار به شکل برآمدگی پادگانه های آبرفتی شکل گرفته و درون آن نیز شامل نهشته های آبرفتی است (شکل ۶). بی هنجاری گرانشی منفی و دایره ای شکل نیز این توضیحات را تأیید می کند و دلیلی بر وجود رسوبات با چگالی کم در درون ساختار می باشد.



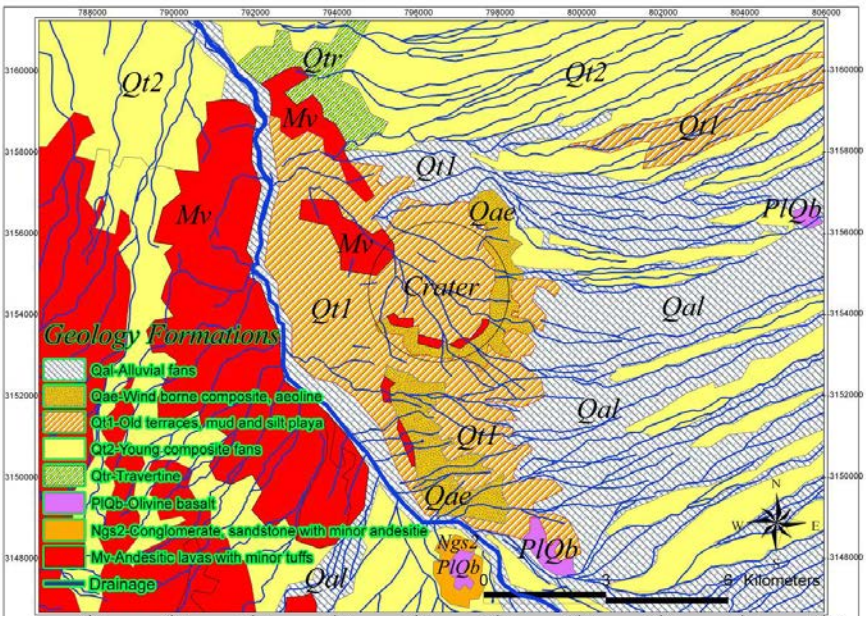

**شکل۳: نقشه توپوگرافی محدوده مطالعاتی**




**شکل ۴: پروفیل های توپوگرافی از گودال زیروکی (واحدها به متر)**




**شکل ۵: نقشه ژئوفیزیک هوابرد محدوده‌ی مطالعاتی؛ محصول پردازش ترازهای میدان مغناطیسی برگردان به قطب**




**شکل ۶: نقشه زمین شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده مطالعاتی**

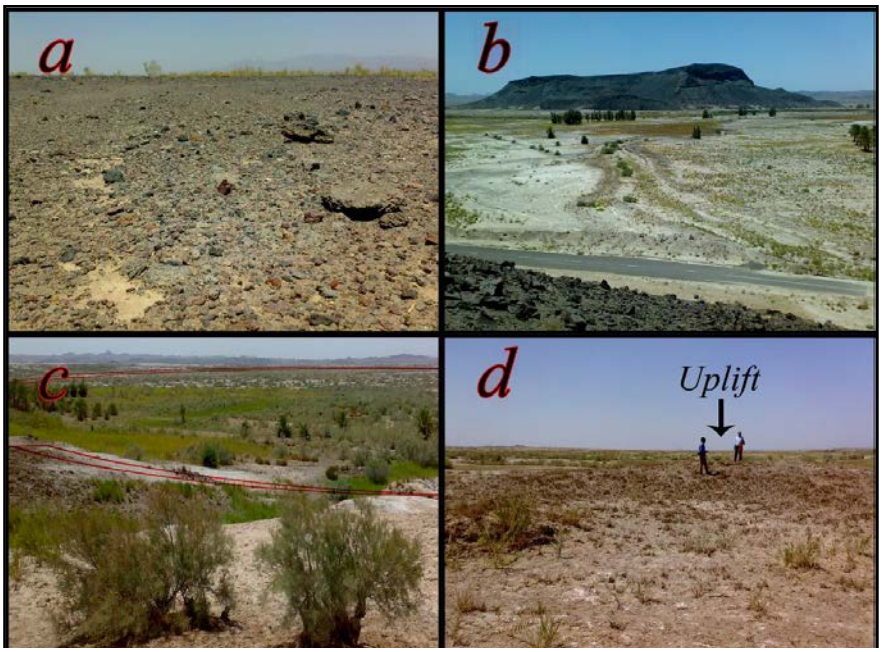
بر مبنای نقشه زمین شناسی و ژئوفیزیک محدوده مطالعاتی، این گودال نمی تواند نشان دهنده ی یک پدیده آذرینی از قبیل یک دهانه انفجاری آتشفشانی (Caldera) و یا مآر (Maar) باشد، چرا که ساختارهای آتشفشانی یاد شده دارای ریشه عمیق آذرینی با چگالی بالا می باشند *(Grieve, 2006)*. همچنین این ساختار گودالی شکل، وابسته به گنبدهای نمکی نیز نمیباشد ، چرا که شکل مقعر گودال بدون یک هسته نمکی نمایان شده است و جریان شعاعی چشمه های لبه گودال نیز نمی تواند نشان دهنده فرسایش هسته مرکزی گودال باشد. از طرفی ژئومورفولوژی گودال یک ساختار ناشی از فرونشست زمین یا فرآیندهای کارستی نمی باشد. اگرچه در شمال گودال یک سپر تراورتنی دیده می شود، اما فرآیند کارستی دایره ای شکل مثل دولین و پولژه فقط بر روی سنگ های کربناته با درجه‌ی خلوص بالاتر از ۹۵٪ رخ می دهد *(Blair, 1986)* که در مورد محدوده‌ی مطالعاتی صادق نیست.

## برداشت میدانی و نمونه برداری

ابتدا محیط بیرونی گودال از یک فاصله حدوداً ده کیلومتری در جایی که دشت ریگی و لاواهای آتشفشانی در پیرامون لبه‌ی خارجی شکل گرفته بود، مورد بررسی قرار گرفت. این پهنه های ریگ دار از سنگ های شکسته شده پوشیده شده اند(شکل a-۷). به فاصله شش کیلومتری در جنوب گودال، توده های منفرد و تخت شده ای پدید آمده اند که به نظر می رسند بقایایی از دایک آذرینی (Dyke)باشند (شکل b-۷). وجود توده های آذرینی مثل بقایای دایک در کنار ساختارهای برخوردی معمول است *(Jones et al, 2002)*.در منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی این توده ها، با سنگ های بازالتی اولیوین دار شکسته و خردشده مربوط به پلئیستوسن پوشیده شده اند. در دوردست تر، نواحی

مرتفع شامل لاواهای آتشفشانی به سن میوسن (قدیمی تر از پلئیستوسن) وجود دارند که اثرات فرسایشی ناچیزی را نشان می دهند. این اراضی مرتفع دارای قلل تیز و پرشیب می باشند، در حالی که تپه های شبه دایک پیش گفته در جنوب گودال از شکل تخت و هموار شده ای برخوردار هستند. این ویژگی منحصر به فرد ژئومورفولوژیک در پیرامون گودال می تواند بیانگر برخورد امواج حاصل از یک شوک قوی باشند *(French and Koeberl, 2010)*.بر طبق مشاهدات میدانی محیط درونی گودال نیز به خوبی نشان دهنده ی یک فرم دایرهای شکل بود که مملو از رسوبات حجیم با تودههای گیاهی نسبتاً متراکم میباشد (شکل c-۷). بخش مرکزی گودال نمایانگر یک اختلاف ارتفاع جزیی است که ممکن است مرتبط با بالاآمدگی مرکزی (Uplift) در یک ساختار برخوردی باشد (شکل d-۷). اگر چه در این بخش شواهدی دال بر سنگهای جای گرفته در عمق با چگالی زیاد، که از شواهد قطعی برخورد است، پیدا نشد، اما اختلاف ارتفاع معنی دار ۱۵-۱۰ متری به وسیله دستگاه GPS دستی[۱] از مرز فرونشسته لبه تا مرکز بالاآمده گودال اندازه گیری شد که می تواند مورد توجه باشد. این یافته ها توسط داده های پروفیل توپوگرافی DEM در شکل (۴) هم کنترل و تأیید شد. مشاهده یک چاه اکتشافی به عمق دو متری در نزدیکی این برآمدگی نشان دهنده وجود انبوهی از نهشته های آبرفتی آهن دار- نمک دار بود، لذا ما آثار برخوردی خاصی چون برشیا و یا مواد مذاب در این چاه پیدا نکردیم. البته در مجاورت لبه تخریب شده جنوبغربی گودال، نمونههای چندی از سنگهای کوچک احتمالاً ذوب شده با سطح آینههای جمع آوری گردید که در ادامه برای پتروگرفی استفاده گردید. همچنین در لبه های درونی گودال زیروکی چندین چشمه ی آب شور منحصر به فرد پدیدار شده اند که جریان های باریک شعاعی جانب به مرکز را با پوشش گیاهی نیمه متراکم و خطی شکل داده اند. با توجه به توپوگرافی گودالی شکل و نگهداشت رطوبتی بالای آن گونه های زیستی متراکم و متنوع شوری پسند در میان آن پدید آمده است که منجر به کنام سازی برخی گونه های جانوری در دل دشت ریگی و نمکی سمسور شده است. وجود چشمه های آب شور متعدد در لبه های گودال نیز باعث شده تا در طول فصل مرطوب گودال به شکل تالاب فصلی در میان شرایط اقلیمی خشک نمایان شود و اکوسیستم خاصی را ایجاد کند. تشکیلات این چشمه های آب شور، چندین شکستگی و میکروگسل احتمالی را در لبه گودال مدفون ساخته اند. بنابراین با توجه به ساختارهای مدفون شده ناشی از رسوبات تالاب فصلی، یافتن مخروط های شکسته (Shatter Cone) از شواهد ژئومورفولوژیک برخورد هم میسر نشد.

**۱- دستگاه GPS دستی مورد استفاده از شرکت Garmin و مدل eTrex Vista، با آنتن داخلی و دارای خطای موقعیت سه متر و خطای سرعت ۰/۱ متربر ثانیه بود.**




**شکل۷: تصاویری از بیرون و درون گودال زیروکی a) دشت ریگی پیرامون گودال b) توده آذرینی در جنوب گودال c) سیمای فیزیکی درون گودال d) برجستگی مرکزی گودال**

در نهایت شش نمونه از سنگ های درون و بیرون گودال جمع آوری گردید و برای انجام مطالعات دقیق سنگ شناسی (پترولوژی) چندین مقطع نازک زمین شناسی از نمونه های جمع آوری شده در گودال، تهیه شد. به طور مقدماتی نمونه های ما شامل سنگ های آذرین (آندزیتی) با بافت پورفیری و کانی های پلاژیوکلاز- پیروکسین و گاه اولیوین و فنوکریست بودند و سوختگی در پیرامون هورنبلندهای برخی از مقاطع میتواند ناشی از یک گرمای ناگهانی باشند. حدود ۳۵-۳۰ درصد مقاطع نمونهها دارای سیلیکا میباشند. سیلیکا به میزان زیادی در نهشته های آواری گودالهای برخوردی یافت می شود *(Reimold et al, 2005)*. ارزیابی XRF بر روی یکی از نمونه های به دست آمده از لبه تخریب شده جنوبغربی گودال متمرکز شد جایی که شکستگی و میکروگسل های احتمالی متعدد امکان یافتن نمونه ای با بیشترین شواهد برخورد را فراهم می کرد *(Senft and Stewart, 2009)*. آزمایش نشان داد نمونه مورد نظر ما دارای اجزای سیلیکات $SiO_2$، اکسید آلومینیوم $Al_2O_3$، آهک CaO و اکسید آهن $Fe_2O_3$حدوداً به میزان ۵۰٪، ۱۵٪، ۱۰ و ۹ درصد می باشد که در این میان میزان سیلیکات قابل قبول و میزان اکسیدهای اصلی آلومینیوم و آهن نیز معنی دار است (جدول ( ۱)). مقدار ۱۰٪ مربوط به آهک نیز می تواند مربوط به فرآیندهای تبلور و دگرگونی به وقوع پیوسته باشد. نتایج پترولوژی انجام شده نشان دهندهی سنگی وابسته به سنگ های بازالتی- آندزیتی غنی از اکسید تیتانیوم $TiO_2$ (از اجزای کمیاب زمینی) است. همچنین نتایج آزمایش XRF نشان دهنده - ی وجود عناصر کمیاب گروه سیدروفیل شامل نیکل Ni، کبالت Co و کروم Cr نیز میباشد (جدول ( ۲)).

**جدول ۱: ترکیب شیمیایی نمونه‌ی انتخاب شده در آزمایش XRF**

| Composition | SiO2 | TiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MnO | MgO |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Value (%) | 50.13 | 1.02 | 15.13 | 8.69 | 0.14 | 5.03 |
| Composition | CaO | Na2O | K2O | P2O5 | SO3 | LOI |
| Value (%) | 9.86 | 3.59 | 0.68 | 0.22 | 3.71 | 1.79 |

**جدول ۲: مقادیر عناصر به دست آمده از نمونه‌ی انتخاب شده در آزمایش XRF**

| Element | V | Cr | Co | Ni | Cu | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Value (ppm) | 434 | 572 | 173 | 277 | 175 | 233 |
| Element | Rb | Sr | Y | Zr | Nb | Ba |
| Value (ppm) | 17 | 3055 | 30 | 301 | 24 | 327 |
| Element | Ce | W | Pb | Th | U | Cl |
| Value (ppm) | 51 | 4 | 63 | 2 | N | 1058 |

محتوای مقادیر مربوط به گروه سیدروفیل در نمونه ی ما شباهت خوبی با نمونه سنگ های مربوط به گودالهای برخوردی تأیید شده مثل لاپاجاروی (Lappajärvi)در فنلاند و بوسومتوی (Bosumtwi)در غنا دارد (*Koeberl et al, 2007*). برای مثال غلظت کروم در این نمونه به میزان ۵۷۲ پی پی ام با مقادیر غلظت در نمونه های برخوردی که بین ۶ تا ۷۰۰ پی پی ام در نوسان است همخوانی دارد (*Reimold and Gibson, 2006*). همه ی شواهد ژئومورفولوژیکی، توپوگرافیکی، ژئوفیزیکی، زمین شناسی و سنگ شناسی رویارویی ما با یک گودال برخوردی احتمالی را امکان پذیر ساخته است با این حال نتایج به دست آمده امکان تأیید قطعی برخوردی بودن گودال را مشروط به بررسی ها و یافتن نمونه های جدیدتر می سازد که در آینده پیگیری خواهند شد.

## نتیجه

مورفولوژی گودالی شکل ساختار مورد مطالعه به طور کامل و با اختلاف ارتفاع مشخصی، مشهود است. علاوه بر این استخراج پروفیل های توپوگرافیکی از DEM نشان داد که در چهار جهت مختلف، علاوه بر ساختار گودالی شکل با لبه های برآمده، برجستگی مرکزی نیز به وضوح دیده می شود. داده های ژئوفیزیک هوابرد نیز وجود یک ساختار دایره ای شکل با بی هنجاری گرانشی منفی را به شکل متمرکز بر روی این ساختار نشان داد که این موضوع خود یکی از شواهد ارزشمند در ارزیابی گودال های برخوردی به شمار می رود. این گودال با پوشش رسوبات حجیم آبرفتی و سیمای ظاهری خود شباهتی به یک ساختار آتشفشانی ندارد و با توجه به شرایط زمین شناسی آن و قرارگیری نهشته های آبرفتی بر روی زمینه ی پلئیستوسن- میوسن می توان گفت که سن زمین شناسی این پدیده در مقایسه با سایر گودالهای مشابه مثل بارینگر در آمریکا (*Masaitis, 2006*)در حدود دوره کواترنر قابل تخمین است. نتایج پترولوژی انجام شده نشان دهنده‌ی سنگی وابسته به سنگ های بازالتی- آندزیتی غنی از اکسید تیتانیوم TiO2 (از اجزای کمیاب زمینی) است که دارای مقادیر معنی داری از اجزای سیلیکات، اکسید آلومینیوم، کربنات و

اکسید آهن می باشد. همچنین نتایج آزمایش XRF نشان دهنده‌ی وجود عناصر کمیاب گروه سیدروفیل شامل نیکل Ni، کبالت Co و کروم Cr نیز می باشد. همه‌ی شواهد به دست آمده نشان دهنده ی رویارویی ما با یک گودال برخوردی احتمالی است، لذا امروز می توان گفت که این منطقه اولین گودال احتمالی حاصل از برخورد شهاب،سنگ در ایران است و از این رو ارزش علمی و حفاظت محیط زیستی دارد. برداشت های میدانی هم علاوه بر ابعاد زمین شناسی، ارزش اکولوژیکی گودال را نشان می داد که گونه های زیستی متراکم و متنوع شوری پسند، وجود چشمه - های آب شور متعدد در لبه های گودال و شکل گیری تالاب فصلی در محل گودال بخشی از آن بود. امید ما بر این است تا اثرات تحقیقات بیشتر در این منطقه منجر به شکل گیری زمینه‌ی جدید علمی در استان و بسط توسعه ی پایدار امنیتی و اقتصادی و زیست محیطی آن گردد. باید اذعان داشت که استان سیستان و بلوچستان به دلیل وجود انواع آثار آتشفشانی، گلفشان ها، چشمه های گسلی و اینک اولین اثر احتمالی برخورد شهابسنگی ایران، یکی از بزرگترین سایت های ژئوتوریسم و ژئومورفوتوریسم کشور به شمار می آید.

## منابع

1- Baratoux, D., Reimold, W.U., ChennaouiAoudjehane, H (2012). The Second Arab Impact Cratering and Astrogeology Conference, Casablanca, 14–20 November 2011–A bridge between geoscientists and astronomers. Meteoritics and Planetary Science 47(6), 1098–1103.

2- Blair, R.W.Jr(1986). Karst landforms and lakes. In: Short, N.M.Sr., Blair, R.W.Jr., (eds.), Geomorphology from space: A global overview of regional landforms, NASA Special Publication, SP-486, Washington DC. pp 402-446.

3- French, B.M(1998). Traces of catastrophe: a handbook of shock–metamorphic effects in terrestrial meteorite impact craters. Lunar and Planetary Institute, Houston. Contribution CB–954, pp. 120.

4- French, B.M., Koeberl, C(2010). The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures: What works, what doesn't, and why. Earth Science Reviews 98(1–2), 123–170.

5- Grieve, R.A.F(2006) Impact structures in Canada. Geotext, vol. 5. Geological Association of Canada. pp 210.

6- Grieve, R.A.F., Langenhorst, F., Stöffler, D(1996). Shock metamorphism of quartz in nature and experiment: II. Significance in geoscience. Meteoritics and Planetary Science 31, 6–35.

7- Gojković, S(1973). The Qal'ehHasan Ali cryptoexplosion structures. Geol. Surv. Iran. Rep. No. Yu/52.

8- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A(2005). Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas. International Journal of Climatology 25(15), 1965–1978.

9- Holm, D.A(1962). New meteorite localities in the Rub'al Khali, Saudi Arabia. American Journal of Science 260(4), 303–309.

10-Howard, K.T., Haines, P.W(2007). The geology of Darwin crater, western Tasmania, Australia. Earth and Planetary Science Letters 260(1–2), 328–339.

11-Jones, A.P., Price, G.D., Price, N.J., DeCarli, P.S., Clegg, R.A(2002). Impact induced melting and the development of large igneous provinces. Earth and Planetary Science Letters 202(3–4), 551–561.

12-Koeberl, C (2002). Mineralogical and geochemical aspects of impact craters. Mineralogical Magazine 66(5), 745–768.

13-Koeberl, C(2004). Remote sensing of impact craters: how to be sure? ComptesRendus Geosciences 336(11), 959–961.

14-Koeberl, C., Shukolyukov, A., Lugmair, G.W(2007). Chromium isotopic studies of terrestrial impact craters: Identification of meteoritic components at Bosumtwi, Clearwater East, Lappajärvi, and Rochechouart. Earth and Planetary Science Letters 256(3–4), 534–546.

15-Langenhorst, F(2002). Shock metamorphism of some minerals: basic introduction and microstructural observations. Bulletin of the Czech Geological Survey 77(4), 265–282.

16-MansouriDaneshvar, M.R., Bagherzadeh, Ali (2011). Investigation of possible evidence for an impact structure(Zirouki crater) in Samsour desert,SE Iran. Proceedings of Second Arab Impact Cratering and Astrogeology Conference, Casablanca, Morocco. pp 62–63.

17-MansouriDaneshvar, M.R., Bagherzadeh, A (2013). Geomorphological investigation of possible impact evidences for the crater-shaped structure of Zirouki in Samsour Desert, SE Iran. Earth Science Informatics 6(4), 241–252.

18-Masaitis, V.L(2006). Review of the Barringer crater studies and views on the crater's origin. Solar System Research 40(6), 500–512

19-McCall, G.J.H (2009). Half a century of progress in research on terrestrial impact structures: A review. Earth Science Reviews 92(3–4), 99–116.

20-Milton, D.J (1976). Qal'ehhasanali maars, central Iran. Bulletin of Volcanology40(3), 201–208.
21-Osinski, G.R(2007). Impact metamorphism of CaCO3-bearing sandstones at the Haughton structure, Canada. Meteoritics and Planetary Science 42(11), 1945–1960.
22-Pati, J.K., Reimold, W.U(2007). Impact cratering–fundamental process in geosciences and planetary science. Journal of Earth System Science 116(2), 81–89.
23-Reimold, W.U., Koeberl, C., Gibson, R.L., Dressler, B.O(2005). Economic Mineral Deposits in Impact Structures: A Review. In: Koeberl, C., Henkel, D.H., (eds.), Impact Tectonics, Springer, Heidelberg. pp 479–552.
24-Reimold, W.U., Gibson, R.L(2006). The melt rocks of the Vredefort impact structure–Vredefort Granophyre and pseudotachyliticbreccias: Implications for impact cratering and the evolution of the Witwatersrand Basin. Chemie der Erde–Geochemistry 66, 1–35.
25-Salameh, E., Khoury, H., Schneider, W(2006). Jebel Waqf as Suwwan, Jordan: a possible impact crater– a first approach. Zeitschrift der DeutschenGeologischenGesellschaft 157(3), 319–325.
26-Senft, L.E., Stewart, S.T (2009). Dynamic fault weakening and the formation of large impact craters. Earth and Planetary Science Letters 287(3–4), 471–482.
27-Skrine, C.P (1931). The highlands of Persian Baluchistan. The Geographical Journal [London]. 78(4), 321–338.
28-Spencer, L.J(1933). Meteorite craters as topographical features on the earth's Surface. The Geographical Journal [London]. 81(3), 227–248.
29-Williams, G.E., Gostin, V.A(2010). Geomorphology of the Acraman impact structure, Gawler Ranges, South Australia. Cadernos do Laboratorioxeolóxico de Laxe 35, 209–220.