

مجله مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره چهارم، بهار 93

تاریخ دریافت مقاله: 92/05/21

تاریخ پذیرش مقاله: 93/01/26

ارزیابی شواهد ژئومورفولوژیک برای گودال بر خوردی احتمالی زیروکی در سیستان و بلوچستان، جنوب شرق ایران

محمد رضا منصور، دانشور¹، سمیه رضایی²

چکیده:

با وجود مطالعات گسترده‌ی انجام شده درباره‌ی پدیده‌های ژئومورفولوژی ایران، تا کنون بررسی گودال‌های بر خوردی مورد توجه قرار نگرفته است. در این مقاله بر اساس روش‌های سنجش از دور و برداشت‌های 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 سال‌های 2011 و 2013 به عنوان یک گودال احتمالی حاصل از برخورد شهاب سنگی معرفی شده است. گودال زیروکی توسط "باراتوکس و همکاران" در سال 2012 به عنوان یک سایت دارای پتانسیل برخورد معرفی شده و در آگوست 2013 به عنوان تنها گودال بر خوردی شهاب سنگی امکان پذیر و قابل تأیید در ایران در پایگاه تخصصی ساختارهای بر خوردی جهان (دانشنامه مخاطرات طبیعی دانشگاه نووسی بیرسک، روسیه) ثبت گردید. اگر این گودال به عنوان گودال بر خوردی تأیید شود آنگاه اولین نمونه‌ی در ایران و سومین نمونه آن در خاورمیانه 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. مهم ترین نتایج حاصل شده از این تحقیق نشان دهنده‌ی ساختار واضح گودالی شکل با لبه‌های برآمده و توپوگرافی برجسته مرکزی می باشد. همچنین اطلاعات ژئوفیزیک به خوبی نشان دهنده‌ی یک بی‌هنجاری ثقلی منفی و دایره‌ای شکل منطبق بر گودال است که آن را از پدیده‌های آذرینی و دیگر شکل‌های فرسایشی متمایز می سازد.

کلید واژه‌ها: ساختارهای بر خوردی، ژئومورفولوژی، بی‌هنجاری ثقلی، شهاب سنگ، گودال زیروکی

1- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

2- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

mrm_daneshvar2012@yahoo.com
s_rezayi2012@yahoo.com

مقدمه:

نیروهای سازنده‌ی ژئومورفولوژی زمین همچون تکتونیک، ولکانیسم، فرسایش، آب و هوا همواره در طول دوران‌های زمین‌شناسی اثرات سطحی و نادری همچون بقایای برخورد‌های شهاب سنگی را تغییر داده و یا از میان برده‌اند. به همین دلیل است که زمین‌شناسان بندرت احتمال وجود گودال‌های برخوردی را می‌پذیرند (Koeberl, 2004). امروزه گودال‌های برخوردی به عنوان ساختارهای زمین‌شناسی ویژه با شکل دایره‌ای، دگر شکلی وسیع، توده‌های آذرینی، مواد معدنی کمیاب، نهشته‌های هیدروکربنی، پرتابه‌های پاشیده شده، سنگ‌های دگرگون شده برشیا و همچنین سیمای خاص بیولوژیک تشخیص داده می‌شوند (French and Koeberl, 2010). البته شکل ظاهری همه گودال‌های برخوردی یکسان نیست و شامل انواع فرم‌های دایره‌ای شکل، الگوهای توپوگرافی تغییر شکل یافته، شکستگی‌ها و دگرگونی‌های گسترده، بی‌هنجاری‌های مغناطیسی و ثقلی دایره‌ای و وجود حجم گسترده‌ای از واحدهای آذرینی می‌گردد (French and Koeberl, 2010). از طرفی باید توجه داشت برخی از پدیده‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیک مشابه با گودال‌های برخوردی می‌توانند حاصل فرایندهای شناخته شده‌ای همچون دگرشکلی تکتونیک، بقایای گنبد‌های نمکی، فوران آتشفشانی، برونزد توده‌های آذرینی، پدیده‌های کارستی و اثرات فرسایشی باشند (Koeberl, 2002; Langenhorst, 2002). اما مهم‌ترین ویژگی معرف گودال‌های برخوردی شامل به دست آوردن مجموعه‌ای از اثرات ناشی از امواج تصادم بر روی زمین می‌باشد که به طور مشابهی در ساختار همه گودال‌های برخوردی قابل تشخیص است (Grieve et al, 1996). تا سال 2010 پایگاه داده‌های ساختارهای برخوردی مثل پایگاه تخصصی ساختارهای برخوردی جهان (دانشنامه مخاطرات طبیعی دانشگاه نووسی بیرسک، روسیه)¹، بیش از 2250 ساختار احتمالاً مرتبط با گودال‌های برخوردی را در 5 سطح رد شده/قابل اعتراض (Rejected/ Disputative)، قابل تردید (Doubtful)، احتمالی (Possible)، امکان‌پذیر و قابل تأیید (Probable)، و قطعی/تأیید شده (Proven/ Confirmed) برای دنیا معرفی کرده‌اند. از این میان فقط حدود 176 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 شده‌اند. بررسی پیوسته پدیده‌های برخوردی امکان شناسایی سایت‌های جدید و جذابی را بویژه در مناطق زمین‌شناسی غیر کریتونیک فراهم می‌کند که پیش از این ناشناخته بوده‌اند. توزیع جهانی گودال‌های برخوردی شکلی تصادفی ندارد. آنها غالباً در مناطق زمین‌شناسی 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 فعالیت‌های درونی زمین فرسایش یافته‌اند و یا در مناطق دور افتاده یا خارج از دسترس واقع شده‌اند (McCall, 2009). علاوه بر این امروزه با به کارگیری نرم افزارهایی همچون (Google Earth) این امکان فراهم شده تا گزارش‌های مربوط به شناسایی گودال‌های برخوردی رو به ازدیاد بگذارد، لذا با استفاده از این تکنیک به همراه روش‌های سنجش از دور می‌توان ارزیابی‌های عمومی خوبی را پیرامون ساختارهای احتمالاً برخوردی به عمل آورد (Pati and Reimold, 2007). بر این اساس یک ساختار دایره‌ای شکل با نام زیروکی

۱- <http://www.tsun.sccc.ru/nh/impact.php>

۲- <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 2011 و 2013 به ترتیب در دومین کنفرانس گودال های برخوردی و اختر زمین شناسی کشورهای عرب (Mansouri Daneshvar and Bagherzadeh, 2011) و مجله‌ی پردازش اطلاعات علوم زمین (Mansouri Daneshvar 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 2012 به عنوان یک سایت دارای پتانسیل برخورد معرفی شده (Baratoux et al, 2012) در آگوست 2013 به عنوان تنها گودال برخوردی شهاب سنگی امکان پذیر (Probable) و قابل تأیید در ایران در پایگاه تخصصی ساختارهای برخوردی جهان (دانشنامه‌ی مخاطرات طبیعی دانشگاه نووسی بیرسک، روسیه) ثبت گردید^۱. خلاصه‌ی نتایج بررسی‌های صورت گرفته در مورد این گودال در طی دو سال گذشته نیز بارها در وبلاگ ژئومورفولوژی و برنامه‌ریزی محیطی منعکس شده است^۲. این گودال اگر به عنوان یک ساختار برخورد شهاب سنگی 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 شهاب سنگی جهان از قبیل گودال سودباری (Sudbury) کانادا و گودال وردفورت (Vredefort) آفریقای جنوبی با میانگین قطر 150-200 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 دوپست کیلومتر نیز ناشی از اصابت شهاب سنگی در 65 میلیون سال پیش بوده که منجر به انقراض دایناسورها شده است. نمونه‌ی تیپیک گودال‌های برخورد شهاب سنگی عهد حاضر کواترنری به کراتر بارینگر (Barringer) واقع در آریزونا آمریکا به قطر 1.2 کیلومتر مربوط است که سن آن به چهل تا پنجاه هزار سال پیش باز می‌گردد. معمولاً گودال های با قطر کمتر از چهار کیلومتر وجه فرسایش یافته کمتری دارند و علاوه بر بارینگر در آمریکا می‌توان به لونار (Lonar) در هند و ولف کریک (WolfeCreek) در استرالیا اشاره کرد. این گودال های شهاب سنگی اکثراً در دوره‌ی 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 می‌توان به بررسی های مربوط به مدل سازی زمین شناسی برخوردهای شهاب سنگی در جهان توسط "اوسینسکی" در سال 2007 اشاره کرد (Osinski, 2007).

۱- Expert Database on Earth Impact Structures (EDEIS)

۲- <http://www.mrmd.blogfa.com>

مطالعات مربوط به شناسایی گودال‌های برخورد شهاب‌سنگی¹ 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 (پدیده‌های ناگهانی)" نوشته‌ی "فرنچ" در سال 1998 می‌باشد (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 2010 می‌باشد (French and Koeberl, 2010) که فرآیندهای میدانی در شناسایی این پدیده‌ها را تشریح می‌کند. با وجود این در ایران علی‌رغم سابقه‌ی مطالعات زمین‌شناسی و تهیه‌ی نقشه‌های عملیاتی پوششی زمین‌شناسی و توپوگرافی برای کل کشور، بحث بررسی گودال‌های برخورد شهاب‌سنگی چندان مورد توجه قرار نگرفته است. ایران عملاً بر روی کمربند فعال تکتونیک جهانی قرار دارد و در آن شواهد ژئومورفولوژیک فراوانی از مظاهر و چشمه‌های گسلی و دهانه‌های آتشفشانی دیده می‌شود. از این رو تا کنون عمده‌ی تحقیقات و تدوین نقشه‌ها بر محوریت این فرآیندها صورت گرفته است و پدیده‌های 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 بوده‌اند. یک مورد توسط "اسکرین" مستشار انگلیسی در سال 1931 به عنوان چاله احتمالاً شهاب‌سنگی گوهرکوه (Gwar-Kuh) و به قطر 45 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 1.1 کیلومتر به همراه چهارده گودال کوچک دیگر پیرامون آن در منطقه راین استان کرمان بود که ابتدا توسط "گویکوویچ" زمین‌شناس یوگسلاوی در سال 1973 به عنوان گودال برخوردی شناسایی گردید (Gojković, 1973) اما با مطالعات کامل تر "میلتون" آمریکایی در سال 1976 به عنوان دهانه‌ی آتشفشانی (Maar) معرفی شد (Milton, 1976).

محدوده‌ی مطالعاتی

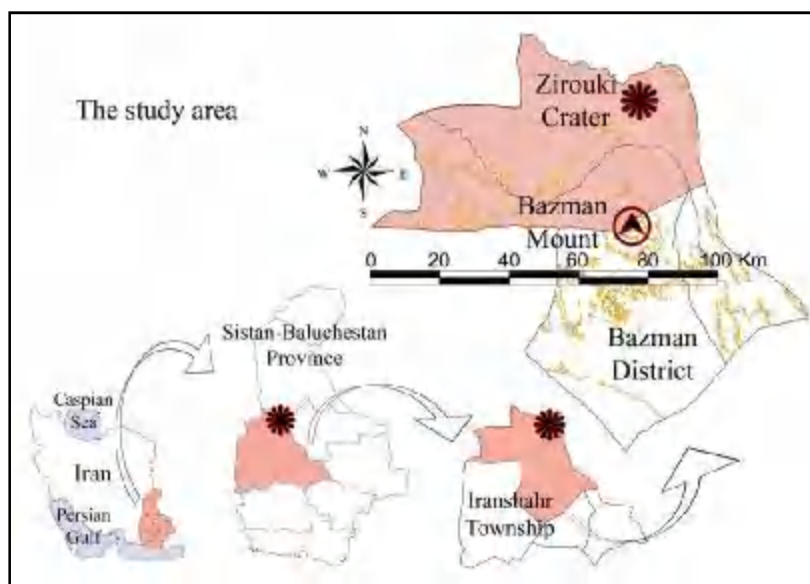
ساختار دایره‌ای شکل زیروکی در دشت سمسور استان سیستان و بلوچستان و در جنوب شرق ایران واقع شده است. این ساختار با قطر 3000-3500 متری و عمق 30-50 متری در مختصات جغرافیایی "28'28" 28 تا "29'58" 28 عرض شمالی و "00'41" 60 تا "02'47" 60 طول شرقی و در ارتفاع 850 تا 900 متری از سطح دریاهای آزاد قرار گرفته است (شکل 1). این گودال به لحاظ تقسیمات سیاسی در غرب استان سیستان و بلوچستان و در شهرستان ایرانشهر، بخش بزمان، دهستان آب رئیس قرار دارد (شکل 2). این محدوده بیرون از مناطق جمعیتی استان سیستان و بلوچستان قرار دارد و تنها آبادی نزدیک به آن روستای "خیرآباد" با جمعیت حدود 100 تا 150

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 120 کیلومتر، تا شهر زاهدان 140 کیلومتر و تا شهر ایرانشهر 155 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 می‌دهند.



شکل ۱: جایگاه گودال زیروکی بر روی تصویر ماهواره ای



شکل 2: 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 لاوهای آتشفشانی و روانه های 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 بازالتی اولیوین دار به سن پلیستوسن به طور منفرد در چند کیلومتری جنوب گودال چهره شاخصی به خود گرفته اند. 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 قهوه ای رنگی ختم می شود 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 85 تا 90 میلیمتر و دمای متوسط سالانه 22 تا 23 درجه 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 MODIS¹ از ماهواره های خورشید آهنگ Terra و Aqua و یا مدل رقومی ارتفاعی DEM² بر مبنای تصاویر SRTM³ به انجام می رسد. سپس بررسی های توپوگرافیکی و زمین شناسی به انجام می رسند. با انطباق مرز پایه محدوده مطالعاتی گودال برخوردی بر روی موزائیک نقشه های توپوگرافی سازمان نقشه برداری، ملاحظه شد که محدوده ی مداخله طرح در برگه توپوگرافی 1:100000 زیروکی و در برگه توپوگرافی 1:50000 جهیل آباد به شماره 80464 قرار گرفته است. همچنین این منطقه بر روی نقشه های زمین شناسی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی 1:100000 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 کشور⁴ 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 منحصر به 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،

1- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

2- Digital Elevation Model (DEM)

3- Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

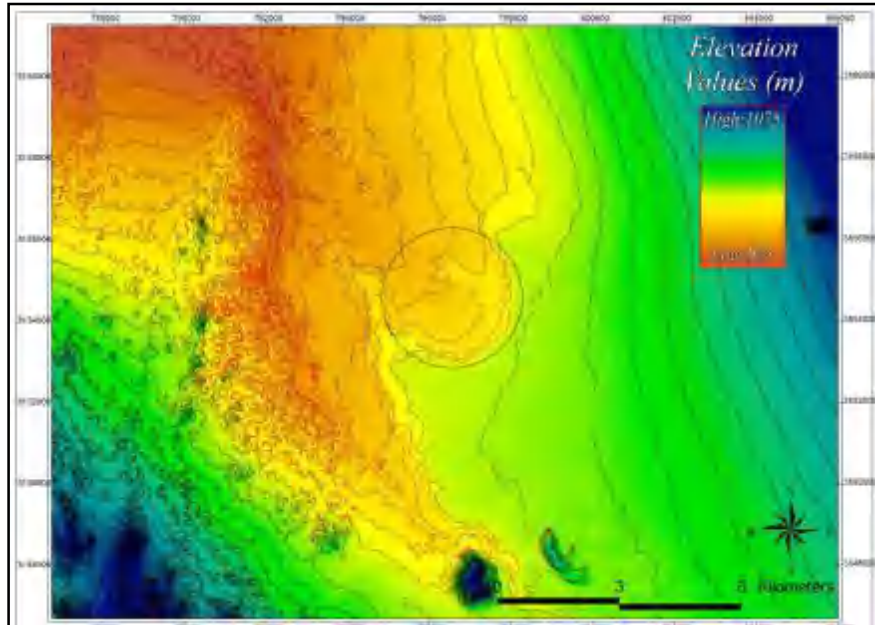
4- <http://www.ngdir.ir/Geomatics/PGeophysics.asp>

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 اثر برخی از فرایندهای ژئومورفولوژیکی همچون هوازدگی، فرسایش و رسوب گذاری، دگرگونی (متامورفیسم) و فعالیت های تکتونیکی و کوهزایی (ولکانیسم) تغییر پیدا کرده و وضوح خود را از دست می دهند. 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 می کند. در تحقیق حاضر برداشت های میدانی در طی چند روز از تابستان سال 2011 در پیرامون گودال تا مرکز برآمده آن به انجام رسید و چندین نمونه از سنگ های مظنون به داشتن شواهد برخورد، جمع آوری گردید و در نهایت آزمایش XRF بر روی یکی از آنها انجام شد.

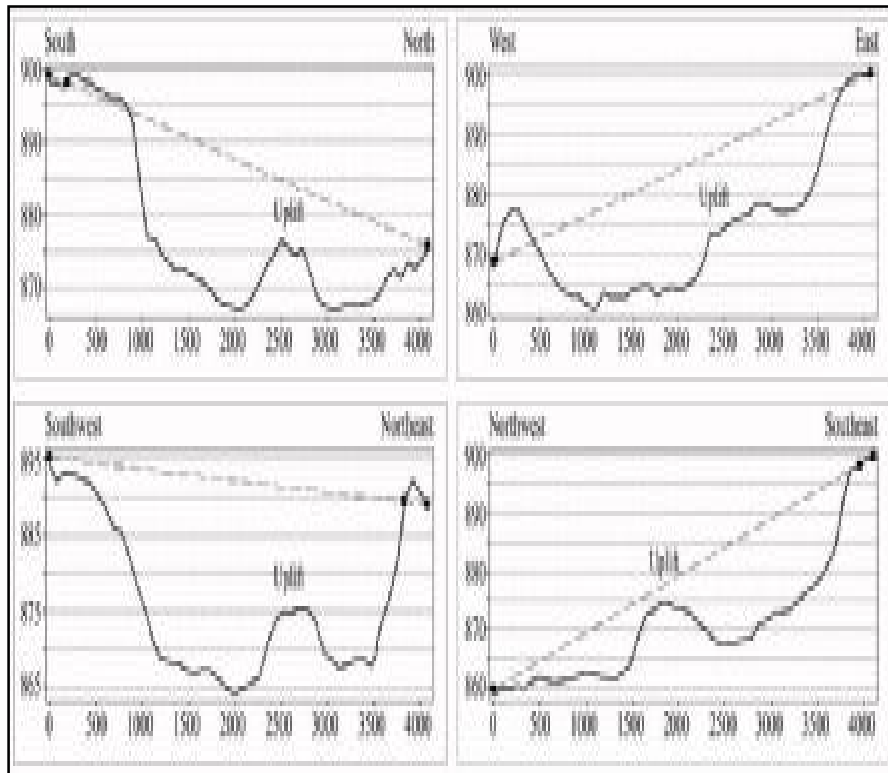
بحث و یافته ها

بررسی های سنجش از دور

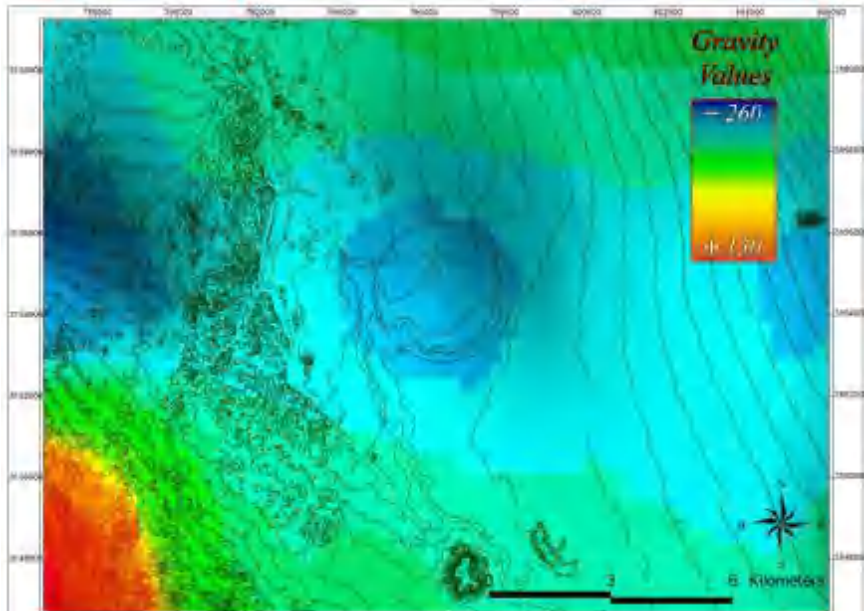
تحلیل های فضایی ساختار مورد مطالعه بر مبنای نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) و در نرم افزار Arc-GIS نشان داد که مورفولوژی گودالی شکل ساختار مورد مطالعه به طور کامل و با اختلاف ارتفاع مشخصی، مشهود است (شکل 3). استخراج پروفیل های توپوگرافیکی از DEM علاوه بر تأیید تغییرات ارتفاعی حدوداً چهل متری، نشان داد که در چهار جهت مختلف، ساختار گودالی شکل با لبه های برآمده و برجستگی مرکزی قابل تشخیص است (شکل 4). 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 135- میلی گال به شکل متمرکز بر روی این ساختار مشاهده می شود (شکل 5). این موضوع یکی از شواهد ارزشمند در ارزیابی گودال های برخوردی به شمار می رود اما در ادامه بررسی های 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 پایه نقشه های زمین شناسی، آتشفشان نیمه فعال بزمان در پنجاه کیلومتری جنوب این ساختار قرار دارد. لاوهای 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 6). 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.



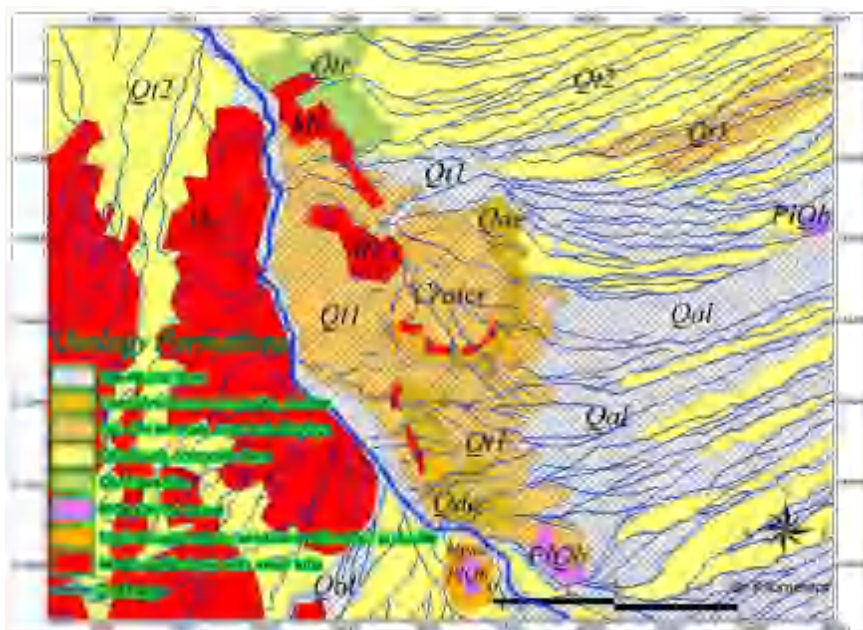
شکل 3: نقشه توپوگرافی محدوده مطالعاتی



شکل 3: پروفیل های توپوگرافی از گودال زیروکی (واحدها به متر)



شکل 5: نقشه ژئوفیزیک هوابرد محدوده‌ی مطالعاتی؛ محصول پردازش ترازهای میدان مغناطیسی برگردان به قطب



شکل 5: نقشه زمین شناسی مقیاس 1:100000 محدوده مطالعاتی

بر مبنای نقشه زمین شناسی و ژئوفیزیک محدوده مطالعاتی، این گودال نمی تواند نشان دهنده‌ی یک پدیده آذرینی از قبیل یک دهانه انفجاری آتشفشانی (Caldera) و یا مار (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 چشمه‌های 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 تراوترنی دیده می شود، اما فرآیند کارستی دایره ای شکل مثل دولین و پولزه فقط بر روی سنگ های کربناته با درجه ی خلوص بالاتر از 95% رخ می دهد (Blair, 1986) که در مورد محدوده ی مطالعاتی صادق نیست.

برداشت میدانی و نمونه برداری

ابتدا محیط بیرونی گودال از یک فاصله حدوداً ده کیلومتری در جایی که دشت ریگی و لاوهای آتشفشانی در پیرامون لبه ی خارجی شکل گرفته بود، مورد بررسی قرار گرفت. این پهنه های ریگ دار از سنگ های شکسته شده پوشیده شده اند (شکل 7-a). 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 7-b). وجود توده های آذرینی مثل بقایای دایک در کنار ساختارهای برخوردی معمول است (Jones et al, 2002). در منطقه ی مورد مطالعه ی این توده ها، با سنگ های بازالتی اولیوین دار شکسته و خردشده مربوط به پلئیتوسن پوشیده شده اند. در دوردست تر، نواحی مرتفع شامل لاوهای آتشفشانی به سن میوسن (قدیمی تر از پلئیتوسن) 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 Koerberl, 2010). بر طبق مشاهدات میدانی محیط درونی گودال نیز به خوبی نشان دهنده ی یک فرم دایره ای شکل بود که مملو از رسوبات حجیم با توده های گیاهی نسبتاً متراکم می باشد (شکل 7-c). بخش مرکزی گودال نمایانگر یک اختلاف ارتفاع جزئی است که ممکن است مرتبط با بالاآمدگی مرکزی (Uplift) در یک ساختار برخوردی باشد (شکل 7-d). اگر چه در این بخش شواهدی دال بر سنگ های جای گرفته در عمق با چگالی زیاد، که از شواهد قطعی برخورد است، پیدا نشد، اما اختلاف ارتفاع معنی دار 10-15 متری به وسیله دستگاه GPS دستی¹ 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 (4) 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 جنوب غربی گودال، نمونه های چندی از سنگ های کوچک احتمالاً ذوب شده با سطح آینه ای جمع آوری گردید که در ادامه برای پتروگرافی 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

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 0/1 متر بر ثانیه بود.

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 برخوردار هم میسر نشد.



شکل 7: 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 می تواند ناشی از یک گرمای ناگهانی باشند. حدود 30-35 درصد مقاطع نمونه ها دارای سیلیکا می باشند. سیلیکا به میزان زیادی در نهشته های آواری گودال های برخورداری یافت می شود (Reimold et al, 2005). ارزیابی XRF بر روی یکی از نمونه های به دست آمده از لبه تخریب شده جنوب غربی گودال متمرکز شد جایی که شکستگی و میکروگسل های احتمالی متعدد امکان یافتن نمونه ای با بیشترین شواهد برخوردار 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 50%، 15%، 10 و 9 درصد می باشد که در این میان میزان سیلیکات قابل قبول و میزان اکسیدهای اصلی آلومینیوم و آهن نیز معنی دار است (جدول (1)). مقدار 10% مربوط به آهک نیز می تواند مربوط به فرآیندهای تبلور

و دگرگونی به وقوع پیوسته باشد. نتایج پترولوژی انجام شده نشان دهنده سنگی وابسته به سنگ های بازالتی - آندزیتی غنی از اکسید تیتانیوم TiO_2 (از اجزای کمیاب زمینی) است. همچنین نتایج آزمایش XRF نشان دهنده وجود عناصر کمیاب گروه سیدروفیل شامل نیکل Ni، کبالت Co و کروم Cr نیز می باشد (جدول (2)).

جدول 1: ترکیب شیمیایی نمونه‌ی انتخاب شده در آزمایش XRF

Composition	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO
Value (%)	50.13	1.02	15.13	8.69	0.14	5.03
Composition	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
Value (%)	9.86	3.59	0.68	0.22	3.71	1.79

جدول 2: 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 نمونه‌ی 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 572 پی پی ام با مقادیر غلظت در نمونه های برخوردی که بین 6 تا 700 پی پی ام در نوسان است همخوانی دارد (Reimold and Gibson, 2006). همه‌ی 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 گیری و پیشنهادها

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 هوارد 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 پلئیتوسن - میوسن می توان گفت که سن زمین شناسی این پدیده در مقایسه با سایر گودال های مشابه مثل بارینگر در آمریکا (Masaitis, 2006) در حدود دوره کواترنر قابل تخمین است. نتایج پترولوژی انجام شده نشان دهنده ی سنگی وابسته به سنگ های بازالتی - آندزیتی غنی از اکسید تیتانیوم TiO_2 (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 دهنده ی وجود عناصر کمیاب گروه سیدروفیل شامل نیکل Ni، کبالت Co و کروم Cr نیز می باشد. همه ی 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 زمینه ی 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 شهاب سنگی ایران، یکی از بزرگ ترین سایت های ژئوتوریسم و ژئومورفوتوریسم کشور به شمار می آید.

تقدیر و تشکر

موضوع این مقاله، محصول تشویق ها و نگاه های پرمحبت مادر عزیزمان مرحومه مغفوره حاجیه خانم اقدس نسل سراجی بود. این مقاله را از صمیم قلب نثار روح پرفتوحش می کنیم و آرامش ابدی و علو درجات معنوی او را در سرای حق، از خداوند متعال مسألت می کنیم.

منابع

- ١- Baratoux, D., Reimold, W.U., Chennaoui Aoudjehane, H., ٢٠١٢. The Second Arab Impact Cratering and Astrogeology Conference, Casablanca, ١٤-٢٠ November ٢٠١١—A bridge between geoscientists and astronomers. *Meteoritics and Planetary Science* ٤٧(٦), ١٠٩٨-١١٠٣.
- ٢- Blair, R.W.Jr., ١٩٨٦. 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- ٤٨٦, Washington DC. pp ٤٠٢-٤٤٦.
- ٣- French, B.M., ١٩٩٨. Traces of catastrophe: a handbook of shock-metamorphic effects in terrestrial meteorite impact craters. Lunar and Planetary Institute, Houston. Contribution CB- ٩٥٤, pp. ١٢٠.
- ٤- French, B.M., Koeberl, C., ٢٠١٠. The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures: What works, what doesn't, and why. *Earth Science Reviews* ٩٨(١-٢), ١٢٣-١٧٠.
- ٥- Grieve, R.A.F., ٢٠٠٦. Impact structures in Canada. *Geotext*, vol. ٥. Geological Association of Canada. pp ٢١٠.
- ٦- Grieve, R.A.F., Langenhorst, F., Stöffler, D., ١٩٩٦. Shock metamorphism of quartz in nature and experiment: II. Significance in geoscience. *Meteoritics and Planetary Science* ٣١, ٦-٣٥.
- ٧- Gojković, S., ١٩٧٣. The Qal'eh Hasan Ali cryptoexplosion structures. *Geol. Surv. Iran. Rep. No. Yu/٥٢*.
- ٨- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A., ٢٠٠٥. Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology* ٢٥(١٥), ١٩٦٥-١٩٧٨.
- ٩- Holm, D.A., ١٩٦٢. New meteorite localities in the Rub'al Khali, Saudi Arabia. *American Journal of Science* ٢٦٠(٤), ٣٠٣-٣٠٩.
- ١٠- Howard, K.T., Haines, P.W., ٢٠٠٧. The geology of Darwin crater, western Tasmania, Australia. *Earth and Planetary Science Letters* ٢٦٠(١-٢), ٣٢٨-٣٣٩.
- ١١- Jones, A.P., Price, G.D., Price, N.J., DeCarli, P.S., Clegg, R.A., ٢٠٠٢. Impact induced melting and the development of large igneous provinces. *Earth and Planetary Science Letters* ٢٠٢(٣-٤), ٥٥١-٥٦١.
- ١٢- Koeberl, C., ٢٠٠٢. Mineralogical and geochemical aspects of impact craters. *Mineralogical Magazine* ٦٦(٥), ٧٤٥-٧٦٨.
- ١٣- Koeberl, C., ٢٠٠٤. Remote sensing of impact craters: how to be sure? *Comptes Rendus Geosciences* ٣٣٦(١١), ٩٥٩-٩٦١.
- ١٤- Koeberl, C., Shukolyukov, A., Lugmair, G.W., ٢٠٠٧. Chromium isotopic studies of terrestrial impact craters: Identification of meteoritic components at Bosumtwi, Clearwater East, Lappajärvi, and Rochechouart. *Earth and Planetary Science Letters* ٢٥٦(٣-٤), ٥٣٤-٥٤٦.
- ١٥- Langenhorst, F., ٢٠٠٢. Shock metamorphism of some minerals: basic introduction and microstructural observations. *Bulletin of the Czech Geological Survey* ٧٧(٤), ٢٦٥-٢٨٢.
- ١٦- Mansouri Daneshvar, M.R., Bagherzadeh, Ali., ٢٠١١. 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 ٦٢-٦٣.
- ١٧- Mansouri Daneshvar, M.R., Bagherzadeh, A., ٢٠١٣. Geomorphological investigation of possible impact evidences for the crater-shaped structure of Zirouki in Samsour Desert, SE Iran. *Earth Science Informatics* ٦(٤), ٢٤١-٢٥٢.
- ١٨- Masaitis, V.L., ٢٠٠٦. Review of the Barringer crater studies and views on the crater's origin. *Solar System Research* ٤٠(٦), ٥٠٠-٥١٢.
- ١٩- McCall, G.J.H., ٢٠٠٩. Half a century of progress in research on terrestrial impact structures: A review. *Earth Science Reviews* ٩٢(٣-٤), ٩٩-١١٦.

- ۲۰- Milton, D.J., ۱۹۷۶. Qal'eh hasan ali maars, central Iran. *Bulletin of Volcanology* ۴۰(۳), ۲۰۱–۲۰۸.
- ۲۱- Osinski, G.R., ۲۰۰۷. Impact metamorphism of CaCO₃-bearing sandstones at the Haughton structure, Canada. *Meteoritics and Planetary Science* ۴۲(۱۱), ۱۹۴۵–۱۹۶۰.
- ۲۲- Pati, J.K., Reimold, W.U., ۲۰۰۷. Impact cratering—fundamental process in geosciences and planetary science. *Journal of Earth System Science* ۱۱۶(۲), ۸۱–۸۹.
- ۲۳- Reimold, W.U., Koeberl, C., Gibson, R.L., Dressler, B.O., ۲۰۰۵. Economic Mineral Deposits in Impact Structures: A Review. In: Koeberl, C., Henkel, D.H., (eds.), *Impact Tectonics*, Springer, Heidelberg. pp ۴۷۹–۵۵۲.
- ۲۴- Reimold, W.U., Gibson, R.L., ۲۰۰۶. The melt rocks of the Vredefort impact structure—Vredefort Granophyre and pseudotachylitic breccias: Implications for impact cratering and the evolution of the Witwatersrand Basin. *Chemie der Erde—Geochemistry* ۶۶, ۱–۳۵.
- ۲۵- Salameh, E., Khoury, H., Schneider, W., ۲۰۰۶. Jebel Waqf as Suwwan, Jordan: a possible impact crater— a first approach. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* ۱۵۷(۳), ۳۱۹–۳۲۵.
- ۲۶- Senft, L.E., Stewart, S.T., ۲۰۰۹. Dynamic fault weakening and the formation of large impact craters. *Earth and Planetary Science Letters* ۲۸۷(۳–۴), ۴۷۱–۴۸۲.
- ۲۷- Skrine, C.P., ۱۹۳۱. The highlands of Persian Baluchistan. *The Geographical Journal [London]*. ۷۸(۴), ۳۲۱–۳۳۸.
- ۲۸- Spencer, L.J., ۱۹۳۳. Meteorite craters as topographical features on the earth's Surface. *The Geographical Journal [London]*. ۸۱(۳), ۲۲۷–۲۴۸.
- ۲۹- Williams, G.E., Gostin, V.A., ۲۰۱۰. Geomorphology of the Acraman impact structure, Gawler Ranges, South Australia. *Cadernos do Laboratorio xeológico de Laxe* ۳۵, ۲۰۹–۲۲۰.