

نقش تغییرات محیط زیست دیرینه در ایجاد حوادث زیستی کلواسر و انقراض زیستی مرز فرازنین - فامنین در برش‌های ایران مرکزی و مقایسه آنها با برش‌های حوضه اروپا

علی بهرامی، استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان*

چکیده

برش‌های قلعه کلاغو، حوض دوره ۱ و ۲ در ایران مرکزی جهت تعیین محل دقیق مرز فرازنین - فامنین مورد بررسی قرار گرفته‌اند. داده‌های کنودونتی منجر به شناسایی ۴۵ گونه متعلق به ۸ جنس گردید که عمدتاً متعلق به ایکریودوس‌ها و پلی گناتیدها می‌باشند. بررسی زیست چین‌نگاری فونای کنودونتی وجود ناپیوستگی با بازه زمانی Upper rhenana to Middle *triangularis zones*. گردید که با حضور افق ماسه سنگ سفید رنگ در مرز بین اشکوب‌های فرازنین - فامنین و در قاعده آهک‌های اوولیتی ماسه‌ای واحد سفالوپوددار مشخص می‌گردد. مقایسه برش‌های مورد مطالعه با سایر برش‌های دونین پسین ایران، حاکی از کامل‌تر بودن برش‌های مذکور در محدوده مرز فرازنین - فامنین می‌باشد. همچنین مقایسه فونای کنودونتی برش‌های حوضه اروپا با برش‌های ایران مرکزی حاکی از استقرار برش‌های حوضه اروپا در بخش‌های عمیق‌تر حوضه پالئوتتیس نسبت به برش‌های ایران مرکزی می‌باشد. بررسی‌های ژئوشیمیایی در برش‌های حوضه اروپا به نقش تکتونو - ماگماتیسیم نظیر ولکانیسم، هیدروترمال و حرکات تکتونیکی در ایجاد افق‌های انقراض زیستی کلواسر در حاشیه جنوبی لورازیا و حاشیه شمالی گندوانا تأکید می‌نماید. همچنین باید به نقش عوامل تکتونیکی که سبب ایجاد حوضه نیمه محصور پالئوتتیس و کاهش جریانات بالارونده و نتیجتاً کاهش اکسیژن آب‌های عمقی و ایجاد افق‌های تیره کلواسر گردیده است اشاره نمود.

واژه‌های کلیدی: فرازنین، فامنین، سازند بهرام، ایران مرکزی.

مقدمه

از دیدگاه زمانی مرز فرازنین - فامنین به طور تقریبی در فاصله زمانی ۳۶۴ تا ۳۷۶/۵ میلیون سال قبل قرار دارد و حادثه زیستی این مرز با حوادث کلواسر^۱ (پایینی و بالایی) شناخته می‌شوند (Tucker et al. 1998). براساس مطالعات Schindler 1990 حادثه زیستی کلواسر پایینی از نظر زمانی حدود ۱-۲ میلیون سال و کلواسر بالایی حدود ۱۰۰ هزار سال را در بر می‌گیرد. برش مرجع مرز فرازنین - فامنین توسط GSSP (Global Stratotype Section and Point) در نزدیک برش Upper Coumiac quarry جنوب شرق Montagne Noire در فرانسه تعیین گردیده است (Klapper et al. 1993 (شکل ۱، شکل ۱۱)). در بسیاری از برش‌ها افق‌های کلواسر پایینی و بالایی با حضور شیلی تیره ارگانیک شناخته می‌گردند و مرز بین زیست زون کنودونتی (Lower gigas - Upper gigas zones) با مرز زیرین حادثه زیستی کلواسر پایینی (LKWH) مطابقت دارد و مرز بین زیست زون‌های کنودونتی (linguiformis Zone - triangularis Zone) منطبق بر مرز بالایی حادثه زیستی کلواسر بالایی (UKWH) است که این مرز نیز منطبق بر مرز فرازنین - فامنین می‌باشد (Ziegler & Sandberg 1990 (شکل ۲)). در حادثه زیستی کلواسر حدود ۸۶٪ از براکیوپودها، ۸۰٪ از استراکدهای بتیک، ۸۰٪ از جنس‌های مرجانی، حدود ۳۳٪ از جنس‌های بریوزوئن و ۱۸ گونه از ۲۸ گونه تریلوبیت‌ها تدریجاً از بین رفتند (Pujol 2005; Buggisch 1991). گونه‌های کنودونتی نیز شدیداً قبل از مرز سیستماتیک فرازنین - فامنین تحت تأثیر قرار گرفته و حدود ۹۰٪ از گونه‌های فرازنین قبل از مرز منقرض

¹ Lower & Upper Kellwasser bioevents

گردیده‌اند (Paris et al. 1996). عوامل متعددی در بروز حوادث انقراضی کلواسر مورد پیشنهاد قرار گرفته‌اند از جمله Mc Ghee 1982 فرضیاتی پیرامون برخورد‌های بولایدی (Bolid impact or Multiple impacts) مطرح نموده است. فرضیات دیگری در مورد سرد شدگی جهانی آب و هوا توسط Joachimski & Buggisch 2002 مطرح گردیده است اما از قابل قبول‌ترین عوامل منجر به حوادث زیستی کلواسر گسترش زون آنوکسیای جهانی است که توسط Bratton et al. 1999; Cooper 2002; George & Chow 2002 مطرح گردیده، اگر چه شواهدی از این زون در بسیاری از برش‌های حوضه اروپا (Pujol 2005) و برش‌های مطالعه شده در ایران مرکزی مشاهده نگردیده است. از فرضیات دیگر مطرح شده در ایجاد حوادث انقراضی این مرز می‌توان به نقش یوتریفیکاسیون اقیانوسی به علت تکامل گیاهان آوندی در خشکی‌های آن زمان (Algeo et al. 1995)، ایجاد شرایط احیایی اقیانوسی (Murphy et al. 2000)، افزایش ورود مواد آواری (Girard & Lecuyer 2004; Tribovillard et al. 2002)، جریان‌های بالارونده اقیانوسی (Caplan et al. 1996; Giles et al. 2002)، افزایش شدت فعالیت‌های تکتونو - ولکانیکی (Becker 2002; Racki et al. 1998; 2000; 2002; Streel et al. 2000; Yudina et al. 2002; و نهایتاً نوسانات سطح آب دریاها (Johnson et al. 1985; Poty 1999 و House 2002 اشاره نمود).

یکی از عوامل پالئوژئوگرافیک مهم در فاصله زمانی فرازنین - فامنین محصور بودن بخشی از اقیانوس پالئوتتیس در بین ابرقاره‌های لورازیا و گندوانا بوده است به نحوی که حتی در بخش‌های غربی به دلیل گسترش

استینبروخ اشمیت^۸ - آلمان) و برش‌های (کومیاک^۹ و لا سرر^{۱۰} - فرانسه) پرداخته شده است.

پوسته و ریفتینگ در بخشی از ابر قاره گندوانا ارتباط فقط از طریق کانال‌هایی با اقیانوس بزرگ پانتالاسا برقرار می‌شده است که این خود زمینه کاهش جریان‌های دریایی و کاهش تبادلات جریان‌ات بالارونده (آپولینگ) را ایجاد می‌نموده و نتیجتاً موجبات گسترش زون آنوکسیک در این بخش از حوضه پالتوتیس را فراهم آورده است (Young et al. 2000 - شکل ۱). همچنین از دیگر عوامل مؤثر در این زمان نقش مؤثر پالتو - تکتونیک که منجر به ایجاد کوهزایی‌های مهم (چین خوردگی‌های السمرین^۱ در کانادا؛ کوهزایی آپالاشین^۲؛ کوهزایی‌های واریسکن^۳ و اورالین^۴ در اروپا و بخش‌هایی از آسیا) و کم عمق‌شدگی در بخش‌های وسیعی از اقیانوس‌های آن زمان گردیده است نام برد (Pique et al. 1993; Tait et al. 1997; Murphy & Keppie 1998). از عوامل دیگر مؤثر در بروز حادثه زیستی مرز فرازنین - فامنین ریفتینگ اقیانوسی در بخش‌های شرقی پالتوتیس و شرق کراتون اروپا در حوضه بالتیک و سیبری می‌باشد (Nikishin et al. 1996; Racki 1998) که این پدیده منجر به بروز ولکانیسم و فعالیت‌های هیدروترمال، فرآیندهای متالوژنیک، ایجاد حوضه‌های پشت کمان، ورود مقادیر بالای ترکیبات سیلیسی آتشفشانی و بروز حوادث زیستی گردیده است.

در این تحقیق به بررسی محل سیستماتیک مرز فرازنین - فامنین در برش‌های ایران مرکزی و شواهد انقراضی در این مرز و تطابق آنها با برش‌های حوضه اروپا (برش کوالا^۵ - لهستان^۶)، برش‌های (بودشیمرباخ^۷،

^۶ Poland

^۷ Budesheimer Bach

^۸ Steinbruch Schmidt

^۹ Caumiac

^{۱۰} La Serre

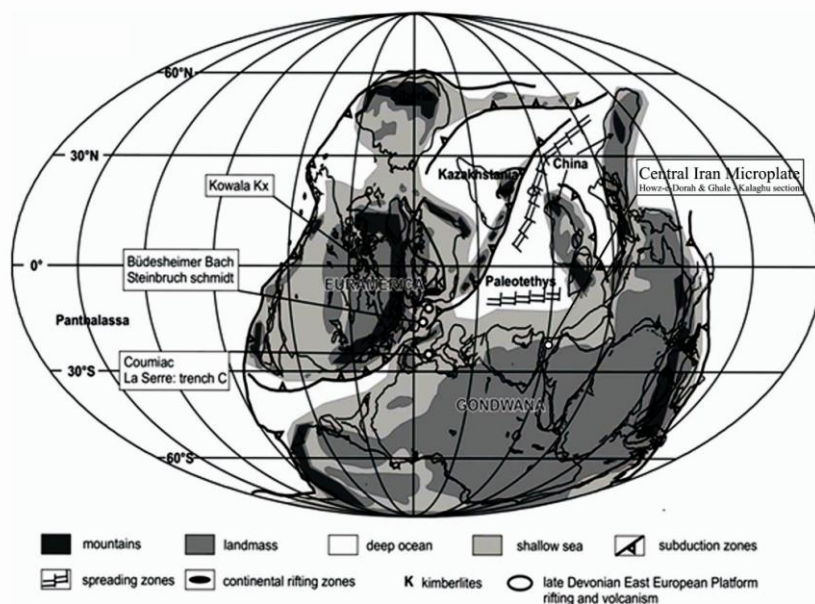
^۱ Ellesmerian Fold belt

^۲ Appalachian orogeny

^۳ Variscan belt

^۴ Uralian belt

^۵ Kowala kx



شکل ۱- بازسازی دیرینه جغرافیایی دونین بالایی (برگرفته از Scotese & Mc Kerrow 1990; Glonka et al. 1994; Pujol 2005 با اندکی تغییر و اصلاح) به همراه موقعیت برش‌های مطالعه شده ایران مرکزی و برش‌های حوضه اروپا، موقعیت زون‌های گسترش بستر اقیانوس‌ها در آن زمان و مناطق ریفتینگ اقیانوسی (Racki 1998) و همچنین موقعیت مناطق اصلی ریفتینگ اقیانوسی و نواحی فعالیت‌های ولکانیکی در پلت فرم شرق اروپا (Wilson & Lyashkevitch 1996).

	STAGES	CONODONT ZONES	AMMONOID ZONES	EVENTS	FAUNAL GUIDES	
DEVONIAN	FAMENNIAN	<i>prasulcata</i>	F E D B A C V	HANGENBERG	<i>Acutimitoceras</i>	UPPER
		<i>expansa</i>	V B A C F	Dasberg	<i>Clymenia</i>	
		<i>postera</i>	VI E D C B	U L Annulata	<i>Platyclymenia</i>	
		<i>trachytera</i>	III B A T			
		<i>marginifera</i>	I H G F E D C	Eukeberg Condroz		
		<i>rhomboidea</i>	II D C B		<i>Cheiloceras</i>	
		<i>crepida</i>	B A	Nehden		
		<i>triangularis</i>	A		<i>Crickites</i>	
	FRASNIAN	<i>linguiformis</i>	13 K J I	U. KELLWASSER		
		<i>rhenana</i>	12 K J I	L. KELLWASSER		
		<i>jamieae</i>	11 H G F E D C B A			
		<i>hassi</i>	10 7.8 6 5 4 3 2 1	Rhinestrect	<i>Beloceras etc.</i>	
		<i>punctatus</i>		Middleser	<i>Sandbergeroceras</i>	
		<i>transitans</i>		Timan	<i>Timanites</i>	
		<i>falsiovalis</i>		Genundewa Frasnes lodl	<i>Manticoceras</i> <i>Koenenites</i>	

شکل ۲ - دیاگرام حوادث اصلی در طول دونین پسین، مستطیل‌های تیره بیانگر رخساره‌های زیستی آنوکسیک یا دیس اکسیک در خلال حوادث این زمان‌ها می‌باشند (House 2002 in Pujol 2005) - بخش خاکستری محدوده سنی زیست زون‌های کنودونتی برش‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

الف - برش‌های ایران مرکزی
که به طور ناپیوسته بر روی سازند بهرام قرار گرفته و به صورت غیررسمی به دو زیر سازند شیش‌تو ۱ و شیش‌تو ۲

سازند شیش‌تو شامل واحدهای تخریبی - کربناته می‌باشد

- فامنین و مقایسه آن با سایر برش‌های مطالعه شده در ایران، ۳ برش (حوض دو راه ۱، حوض دو راه ۲ و برش قلعه کلاغو در جنوب شرق شتری - شرق طبس جهت مطالعه انتخاب گردیدند.

- **برش قلعه کلاغو با مختصات:** base 33°20'40.86 - 57°20'09.72"E and top: 33°20'49.19"N - 57°20'05.84"E. این برش شامل ۱۰۵ متر از بخش‌های بالایی زیر سازند شیشتو ۱ که در بر دارنده واحدهای لیتولوژیک زیر از قاعده برش به سمت رأس می‌باشد تشکیل شده است (شکل‌های ۳ و ۵ و ۶):

- ۲۵ متر آهک خاکستری نودولار با تناوبی از مارن‌های قهوه‌ای تا خاکستری، میان لایه‌های نازک آهکی دارای کنودونت، گونیاتیت، بقایای پلاکودرم، ساقه کرینوتید، مرجان‌های انفرادی و بریوزوئر (فرازنین)

- ۵/۳۳ متر ماسه سنگ سفید با هوازی سطحی قهوه‌ای، دارای دانه‌های ماسه جور شده دارای میان لایه‌های نازک شیل‌های ماسه‌ای و لایه‌های نازک آهک ماسه‌ای دارای ناپیوستگی فرسایشی در سطح زیرین (قاعده اشکوب فامنین)

- ۱۵ متر آهک‌های ماسه‌ای آلئیتی قهوه‌ای تا زرد دارای براکیوپود، دوکفه‌ای، استراکد، گونیاتیت و کنودونت

- ۵/۸ متر آهک نازک لایه دارای بقایای خرد شده دوکفه‌ای، گونیاتیت و کنودونت

- ۲۲ متر آهک‌های قهوه‌ای تا صورتی با میان لایه‌های شیلی و مارن درای گاستروپود، دوکفه‌ای، ساقه کرینوتید، مرجان‌های انفرادی و کنودونت

- ۱۶ متر آهک‌های آلئیتی دارای میان لایه‌های چرتی دارای بقایای کرینوتید و کنودونت

تقسیم‌بندی شده است (Stocklin & Nabavi 1971). زیر سازند شیشتو ۱ با حدود ۳۰۰ متر ضخامت متشکل از شیل‌های سبز تیره با میان لایه‌های ماسه سنگی، کوارتزی و لایه‌های نازک آهکی مشخص می‌شود. در ۲۸ متر از فوقانی‌ترین لایه‌های این زیر سازند (معادل لایه‌های ۲۳ تا ۲۶ اشتوکلین و همکاران^۱ ۱۹۶۵) دارای میان لایه‌های آهک‌های آلئیتی، آلئیت‌های آهنی شده، ماسه سنگ و شیل می‌باشد، که این بخش به نام واحد سفالوپوددار نامیده شده است. سن این بخش از فرازنین میانی تا فامنین پسین مشخص گردیده است. قاعده واحد سفالوپوددار به صورت دیاکرون بوده و از فرازنین پسین در کال سردر تا فامنین در حوض دو راه تعیین گردیده است (Wendt et al. 1997; 2005; Yazdi 1999; Bahrami et al. 2011). زیر سازند شیشتو ۲ در حدود ۲۵۰ متر ضخامت متشکل از شیل‌های خاکستری تا زرد رنگ، صخره ساز با میان لایه‌های شیلی می‌باشد که در بخش قاعده با واحد تیره رنگ افق موش متشکل از شیل‌های خاکستری تیره با میان لایه‌های نازک شیل‌های ژیبسی شده صورتی و لایه‌های نازک شیل تیره به همراه قلوه‌های آهکی غنی از براکیوپودهای ریز، گاستروپود، استراکودهای تیره آهنی شده و کنودونت که بیانگر سن تورنیزین زیرین (Zone Lower Sulcata) می‌باشد (Bahrami et al. 2011). مرز دونین - کربونیفر بر اساس مطالعات کنودونتی انجام شده بین زیر سازندهای شیشتو ۱ و شیشتو ۲ و منطبق بر مرز بین واحد سفالوپوددار و افق موش می‌باشد و در بر گیرنده ناپیوستگی با گستره دو زیست زون کنودونتی *Middle to Late praesulcata* می‌باشد (Bahrami et al. 2011). مرز فرازنین - فامنین در برش‌های حوض دوراه و قلعه کلاغو در قاعده یک واحد ماسه سنگی سفید رنگ که بین لایه‌های دارای پلاکودرم و واحد سفالوپوددار است، قرار می‌گیرد. بر این اساس جهت مطالعه بیواستراتیگرافیک این مرز، بررسی مجموعه علل و حوادث منجر به انقراض زیستی فرازنین

¹ Stocklin et al. 1965



شکل ۳ - نمای پانورامیک برش قلعه کلاغو و محل استقرار واحد ماسه سنگ سفید رنگ مرز فرازنین - فامنین

نازک مارنی

- ۲۱ متر آهک آلیتی دارای میان لایه‌های چرتی، دوکفه‌ای، ساقه کرینوئید، مرجان‌های انفرادی و کنودونت - برش حوض دو راه ۲ با مختصات: base 33°22'16.67"N - 57°20'23"E and top: 33°22'26.24"N - 57°20'25.48"E.

- ۱۵ متر آهک خاکستری نودولار، بقایای پلاکودرم، ساقه کرینوئید، مرجان‌های انفرادی و بریوزوئر (فرازنین) - ۷/۱۳ متر ماسه سنگ سفید تا قهوه‌ای، دارای دانه‌های ماسه جور شده دارای میان لایه‌های نازک شیل‌های ماسه دارای ناپیوستگی فرسایشی در سطح زیرین (قاعده اشکوب فامنین)

- ۹ متر آهک آلیتی ماسه‌ای، دوکفه‌ای، ساقه کرینوئید، مرجان‌های انفرادی و کنودونت

- برش حوض دو راه ۱ با مختصات: base 33°22'21.07"N - 57°20'22.85"E and top: 33°22'26.64"N - 57°20'29"E. (شکل‌های ۴ و ۵ و ۷).

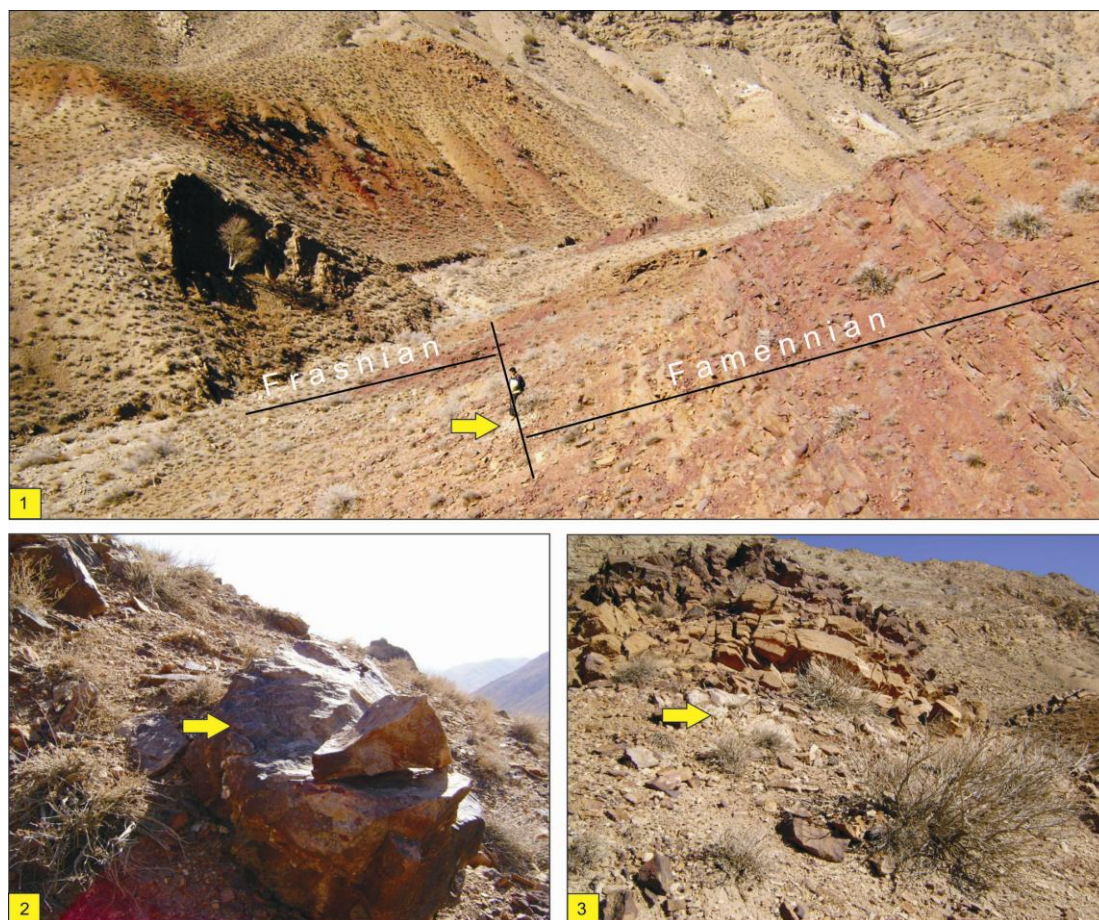
- ۲۳ متر آهک خاکستری نودولار دارای میان لایه‌های ماسه سنگی و شیل، بقایای پلاکودرم، ساقه کرینوئید، مرجان‌های انفرادی و بریوزوئر (فرازنین)

- ۱۵ متر ماسه سنگ سفید چرتی دارای میان لایه‌های شیلی و قلوه‌های آهکی دارای ناپیوستگی فرسایشی در سطح زیرین (قاعده اشکوب فامنین)

- ۵/۱۲ متر آهک ماسه‌ای آلیتی دارای خرده‌های دوکفه‌ای، گونیاتیت کم و کنودونت

- ۳/۷ متر آهک نازک لایه

- ۱۰ متر شیل با میان لایه‌های نازک آهکی و لایه‌های



شکل ۴-۱- نمای پانورامیک برش حوض دوره ۱ و محل استقرار مرز فرازنین - فامنین، ۲، ۳- نمای نزدیک واحد ماسه سنگی سفید رنگ واقع در مرز فرازنین - فامنین

Polygnathus, *Palmatolepis*, *Pelekygnathus*, *Scaphignathus* شناسایی گردید که مجموعه مطالعه شده به طور غالب شامل جنس‌های *Icriodus*, *Polygnathus*, مربوط به محیط کم عمق بوده و میزان عناصر کنودونتی *Palmatolepids* متعلق به محیط‌های عمیق بسیار کم می‌باشند. بیوزوناسیون کنودونتی دونین پسین توسط Ziegler & Sandberg 1990 بر مبنای ظهور و انقراض *Palmatolepids* (پالماتولپیس‌ها) که از شاخص‌های محیط‌های عمیق می‌باشند معرفی گردیده است. این گونه‌های کنودونتی در برش‌های مطالعه شده این تحقیق به دلیل استقرار در حاشیه‌های کم عمق پالئوتیس از فراوانی بسیار کم برخوردار بوده

زیست زون‌های مورد مطالعه

تعداد ۴۷ نمونه ۳-۴ کیلوگرمی (۱۹ نمونه از برش قلعه کلاغو، ۱۷ نمونه از برش حوض دو راه ۱، ۱۱ نمونه از برش حوض دو راه ۲ برداشت گردید. جمعاً ۳۲۳۲ عدد عنصر کنودونتی از بررسی نمونه‌ها به دست آمده است که اگرچه تعداد و تنوع کنودونت‌ها در نمونه‌های مطالعه شده متفاوت است اما نمونه‌ها از حفظ شدگی نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشند. اندیس تغییر رنگ کنودونت‌ها (CAI) در بخش فرازنین تیره تا سیاه $CAI=5$ و در بخش‌های زیرین فامنین قهوه‌ای رنگ $CAI=3$ می‌باشد. جمعاً تعداد ۱۵ گونه متعلق به ۸ جنس کنودونتی، *Ancyrodella*, *Ancyrognathus*, *Bispathodus*, *Icriodus*,

می‌باشند و همچنین تعلق فونای زیستی کنودنتی موجود در افق لایه‌های ماسه‌سنگی روی سطح ناپیوستگی به فامنین زیرین از شواهد وجود ناپیوستگی در این مرز می‌باشند. در برش قلعه کلاغو بلافاصله در زیر مرز در بالاترین افق‌های آهکی مربوط به فرازنین افق‌های دارای بقایای ماهی‌های پلاکودرم حضور دارد و روی آن با ناپیوستگی ماسه سنگ‌های قاعده فامنین قرار می‌گیرد. غلامعلیان، ۱۳۸۲ در برش قلعه کلاغو آثار فسیل گیاهی در مرز فرازنین - فامنین گزارش نموده است. همچنین یزدی، ۱۹۹۹ و غلامعلیان، ۱۳۸۲ معتقد به وجود بلوک‌های فسیل دار نابرجا در مرز فرازنین - فامنین می‌باشند.

Upper triangularis Zone (فامنین زیرین)

این زیست‌زون در محدوده نمونه‌های GH 7, HDA 6- 10, HBA 7 در بخش ماسه سنگ‌های سفید چرتی شناسایی گردیده و با اولین حضور گونه *Icriodus cornutus* (Bultynck 2003) و مرز بالای این زیست‌زون نیز با اولین حضور گونه *Pelekysgnathus inclinatus* در ابتدای زیست‌زون بعدی مشخص می‌گردد.

Lower crepida Zone (فامنین زیرین)

این زیست‌زون از محدوده نمونه‌های GH 8-GHA 3, HDA 11-13, HBA 8-11. حضور گونه *Pelekysgnathus inclinatus*, Sandberg & Bultynck 2003 و مرز بالای آن با اولین حضور گونه *Polygnathus semicostatus* مشخص می‌گردد. *Icriodids* ایکریودوس‌ها از نمونه‌های غالب در این زیست‌زون می‌باشند.

Middle-uppermost crepida zones (فامنین زیرین)

این زیست‌زون در برش قلعه کلاغو در محدوده

ویبوزوناسیون بر مبنای ظهور و انقراض *Icriodus Polygnathus*, انجام پذیرفته است. بر این اساس تعداد ۸ زیست‌زون کنودنتی متعلق به فرازنین پسین تا فامنین میانی شناسایی گردیده است.

(فرازنین بالایی) - Lower rhenana Zone-

این زیست‌زون از محدوده نمونه‌های (GH1-6) در برش قلعه کلاغو، نمونه‌های (HDA1-5) از برش حوض دو راه ۱ و نمونه‌های (HBA 1-6) از برش حوض دو راه ۲ با حضور همزمان *Polygnathus aequalis*, *P. praepolitus*, *P. politus*. مشخص می‌گردد. دو گونه *Polygnathus aequalis*, *P. praepolitus* در زیست‌زون Lower rhenana آخرین حضور خود را داشته و منقرض می‌گردند (Ji & Ziegler 1993; Ovnatanova & Kononova 2001)، در صورتی که گونه کنودنتی *P. politus* در این زیست‌زون ظاهر می‌گردد (Ovnatanova & Kononova 2001). این زیست‌زون دارای تعداد فراوانی کنودونت با حفظ شدگی خوب بوده و در بخش فوقانی این زیست‌زون ناپیوستگی بین آهک‌های تشکیل‌دهنده این بخش و ماسه سنگ‌های زیست‌زون بعدی قابل مشاهده می‌باشد.

Upper rhenana - M. triangularis zones (فرازنین بالایی - فامنین زیرین)

این زیست‌زون فاقد عناصر کنودنتی بوده و به علت جایگاه قرارگیری آن بین زیست‌زون بالایی و پایینی تشخیص داده شده است. در این بخش بین آهک‌های نودولار خاکستری زیرین و ماسه سنگ‌های این واحد ناپیوستگی فرسایشی قابل تشخیص می‌باشد. وجود سطح فرسایشی در رأس رسوبات فرازنین و عدم وجود افق‌های کلواسر پایینی و بالایی که در حوضه‌های اروپا دارای فونای فسیلی غنی و گاه‌آ‌دارای افق‌های شیلی تیره

بررسی زیست زون‌های مذکور وجود ناپیوستگی مرز فرازین - فامنین را در قاعده بخش ماسه سنگ سفید چرتی مشخص می‌نماید و محدوده این ناپیوستگی در *Upper rhenana* to *Middle triangularis zones* می‌داند که بعلت نبود فونای شاخص کنودونتی تفکیک زیست زون مذکور امکان‌پذیر نمی‌باشد.

ب - برش های حوضه اروپا

از برش‌های مطالعه شده در حوضه اروپا، برش کوالا^۱ (لهستان) شامل شیل‌های کربناته تیره با میان لایه‌های آهک کربناته نهشته شده در شلف عمیق می‌باشند و مرز فرازین - فامنین در یک افق چرتی و منطبق بر زیست زون‌های کنودونتی *triangularis* - *liquiformis zone* می‌باشد (Racki et al. 2002; Pujol 2005)، شکل ۸). برش استینبروخ اشمیت^۲ (آلمان) شامل آهک‌های تیره تا خاکستری است که در بین آهک‌های خاکستری سفالپوددار قرار دارد و در سرایشب قاره و زیر سطح اثر امواج تشکیل گردیده است (Buggisch 1991). Schindler 1990 حضور شیل‌های تیره آنوکسیک در این مرز را دلیل حادثه انقراضی این مرز می‌داند در حالیکه Pujol 2005 نرخ بالای محتوی کائولینیت در این مرز در برش مذکور را ناشی از غلبه آب و هوای گرم و مرطوب می‌داند (شکل ۸).

نمونه‌های GH 4-6 و در برش حوض دو راه ۲ در محدوده نمونه‌های HD 14-16 شناسایی گردید. مرز زیرین این زیست زون با اولین حضور گونه *Ji & Polygnathus semicostatus*, Ziegler 1993 و مرز بالایی آن با آخرین حضور گونه *Icriodus alt.* (Bultynck 2003)، *alternatus* مشخص می‌گردد.

Lower rhomboidea Zone- (فامنین زیرین)

این زیست زون در بخش بالایی برش قلعه کلاغو در نمونه GHA 7 و در نمونه HD 17 برش حوض دو راه ۱ شناسایی گردید. مرز زیرین این زیست زون با آخرین حضور *Icriodus alt. alternatus* و مرز بالایی آن با آخرین حضور گونه *I. iow. iowaensis*, می‌گردد (Bultynck 2003).

Upper rhomboidea to Upper marginifera

zones (فامنین بالایی)

این زیست زون در بخش بالایی برش قلعه کلاغو شناسایی گردید. مرز زیرین آن منطبق بر آخرین حضور گونه *I. iow. Iowaensis* و مرز فوقانی آن منطبق بر اولین حضور گونه *Scaphignathus velifer velifer*. *Polygnathus semicostatus* می‌باشد. گونه *Po. c. communis* از نمونه‌های غالب در این زیست زون می‌باشد.

velifer Zone- (فامنین بالایی)

این زیست زون در برش قلعه کلاغو در نمونه GHA 9 با اولین حضور گونه کنودونتی *Scaphignathus vel. velifer* که براساس Ziegler & Sandberg 1984 و Corradini 2008 از گونه‌های شاخص این زیست زون معرفی گردیده‌اند می‌باشد. *Bispathodus stabilis* و *Branmehla bohlenana* از سایر گونه‌های قابل شناسایی در این زیست زون می‌باشند.

¹ Kuwala

² Steinbruch Schmidt



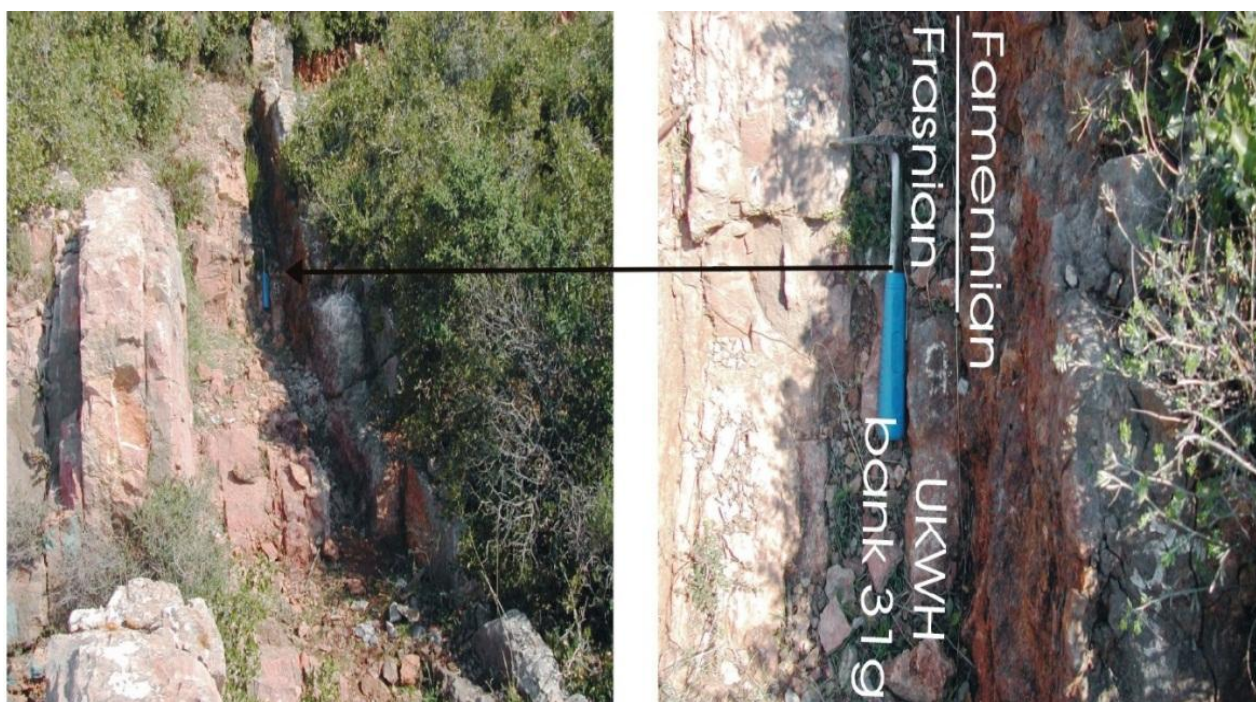
شکل ۸- مرز فرازنین - فامنین در برش کوالا (لهستان) و موقعیت لایه چرتی منطبق بر این مرز (پوجول ۲۰۰۵). شکل راست

شکل ۹- موقعیت مرز فرازنین - فامنین و افق‌های کلاسر پایینی و بالایی در برش استینبروخ اشمیت، آلمان (پوجول ۲۰۰۵).

شکل چپ

از برش‌های مطالعه شده در فرانسه، برش کومیاک^۱ (شکل ۱۰) در ۱۹۹۳ بدلیل تغییرات تدریجی در فونای میکروفسیلی به عنوان برش مرجع جهانی مرز فرازنین - فامنین انتخاب گردید (Klapper et al. 1993). این برش شامل آهک‌های نودولار خاکستری سفالوپوددار است که افق‌های کلاسر پایینی و بالایی با حضور مادستون و وکستون‌های تیره مشخص می‌باشد. برش لا سر La serre Trench C (شکل ۱۱)، فرانسه نیز متشکل از تناوب گلسنگ‌های کربناته تیره و آرزلیت می‌باشد. Schindler et al. 1990

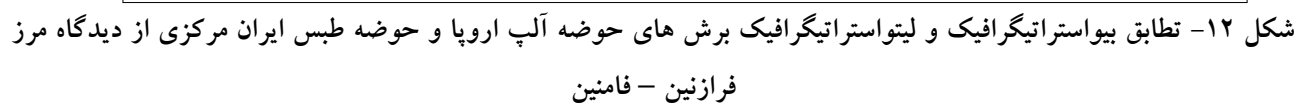
¹ Coumaiac



شکل ۱۰- موقعیت مرز فرازنین - فامنین و محل افق کلواسر بالایی در برش مرجع کومیاک، فرانسه Coumaic section



شکل ۱۱- موقعیت مرز فرازنین - فامنین در برش لا سر، فرانسه La Serre trench C section



بحث

Yazdi 1999 ناپیوستگی مرز فرازنین - فامنین را در درون توالی ماسه سنگی بین واحد پلاکودرم‌دار و واحد سفالوپوددار شناسایی نموده است (شکل ۱۳ - ۶). Ashuri 2002، به حضور نهشته‌های دونین پسین (فرازنین - فامنین) در برش‌های حوض دو راه و نیاز (کال سردر) اشاره نموده است. Gholamalian 2007 در بررسی مرز فرازنین - فامنین در برش‌های چاهریسه (اصفهان، ایران مرکزی) معتقد است این مرز منطبق بر یک واحد شیلی می‌باشد و زیست زون‌بندی کنودونت‌های موجود حاکی از حضور زیست زون‌های (Early to Late *rhenana-linguiformis zones*) در محدوده مرز فرازنین - فامنین می‌باشد (شکل ۱۳ - ۱۲). همچنین Gholamalian 2007 در بررسی برش قلعه کلاغو این مرز را منطبق بر یک واحد ماسه سنگی و گستره این مرز را از (Early to Late *rhenana zones* تا *triangularis Zone*) و در برش حوض دو راه این مرز را منطبق بر ماسه سنگ شیلی و از (*triangularis Zone* تا Early to Late *rhenana zones*) می‌داند (شکل ۱۳، ۴، ۵ - ۱۳). در برش کال سردر، این مرز منطبق بر واحد شیلی تیره و شامل زیست زون‌های (*late rhenana - linguiformis zones* تا *Early triangularis Zone*) می‌باشد. Gholamalian et al. 2009 با بررسی زیست چینه‌نگاری نهشته‌های دونین پسین در برش کال سر در معتقد به عمیق‌تر بودن این بخش از حوضه نسبت به برش‌های قلعه کلاغو و حوض دوراه می‌باشند (شکل ۱۳ - ۳). در برش هجدک در شمال کرمان Gholamalian & Kebriaei 2008 معتقد بر انطباق حدود مرز فرازنین - فامنین با شیل‌های خاکستری و زیست زون *Upper rhenana - linguiformis zones* تا *? lower- Upper triangularis zones* می‌باشند (شکل ۱۳ - ۹). Ahmadi et al. 2012 بررسی برش هور در شمال کرمان معتقد به عدم حضور نهشته‌های فامنین بوده و بالاترین بخش‌های نهشته‌های

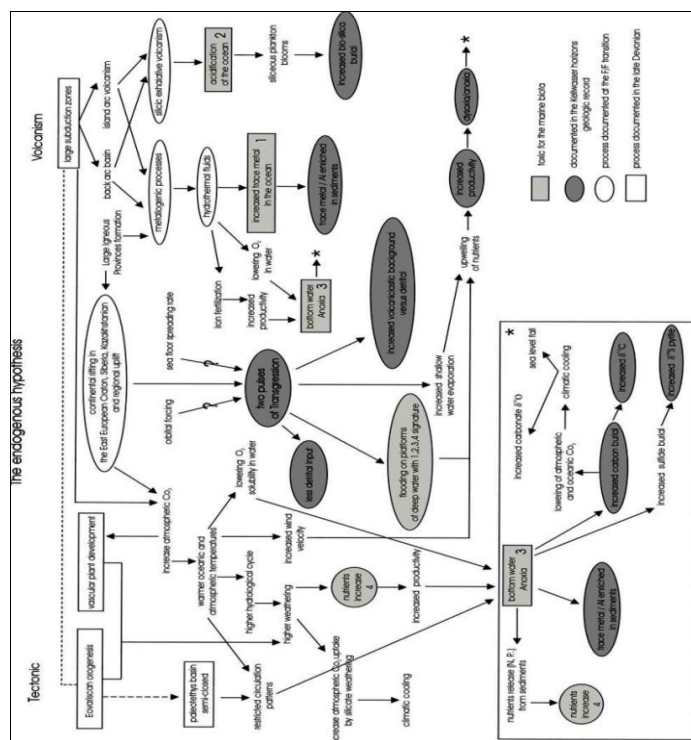
دونین پسین در این برش را متعلق به زیست زون *Upper rhenana to linguiformis zones* می‌دانند (شکل ۱۳ - ۹). Bahrami et al. 2011 در بررسی برش شمس‌آباد مرز فرازنین - فامنین را منطبق بر واحد آهک ماسه‌ای با سن *Upper triangularis zones* تا *? lower- Upper triangularis zones* می‌دانند (شکل ۱۳ - ۱۱). Gholamalian 2006 با بررسی برش هوتک در شمال کرمان مرز فرازنین - فامنین را منطبق بر واحد آهک ماسه‌ای - شیلی و زیست زون غیرقابل تفکیک *Zones linguiformis* تا *Zones triangularis* می‌داند (شکل ۱۳ - ۱۰). Hairapetian & Yazdi 2003 در بررسی کنودونت‌های برش دالمه - حوضه یزد زیست زون‌های *Upper rhenana - linguiformis zones* تا *triangularis - crepida zones* را شناسایی نموده که بر این اساس زیست زون‌های مرز فرازنین - فامنین و گستره ناپیوستگی این مرز قابل تفکیک نمی‌باشد (شکل ۱۳ - ۷). حسینی نژاد و همکاران ۱۳۸۶ با بررسی برش کلاریز - البرز شرقی معتقد است که نهشته‌های فامنین میانی با ناپیوستگی بر روی نهشته‌های سازند میلا قرار گرفته‌اند (شکل ۱۳ - ۱). Ashuri 2006 نهشته‌های دونین پسین - کربونفر پیشین برش خوش ییلاق - البرز شرقی را مطالعه نموده و حضور نهشته‌های فرازنین - فامنین تا تورنیزین سازند مبارک را بر اساس کنودونت‌ها مشخص نموده است زیست زون‌های مرز فرازنین - فامنین در این برش قابل تفکیک نمی‌باشد (شکل ۱۳ - ۲).

در بررسی‌های ژئوشیمیایی برش‌های Montagne Noire, Coumaic و La Serre نرخ پایین Al_2O_3 در افق‌های کلواسر ناشی از کاهش ورود مواد تخریبی در این زمان بوده است و در عوض افزایش نرخ Ti/Al و Na/K در برش‌ها حاکی از افزایش میزان مواد ولکانیکی به حوضه بوده است. کاهش مواد ورودی آواری در برش‌های مذکور به بالا آمدن سطح آب در این زمان نسبت داده شده است (Pujol 2005). همچنین بررسی

محتوی P گردیده است که حاکی از ایجاد شرایط یوتریفیکاسیون می باشد (Joachimski et al. 2001; 2002). اندازه گیری میزان اکسیژن آب عمق در زمان رسوب گذاری از نرخ تغییرات نسبت V/Cr , Ni/Co , U/Th و یا نرخ عناصر کالکوفیل مانند Fe , Mn , Ni , Pb , Cu , ... انجام می گیرد. همچنین میزان پیریزاسیون یکی از مهمترین پارامترهای اندازه گیری میزان اکسیژن در آب زمان رسوب گذاری است، اگرچه نرخ کاهش میزان اکسیژن در همه برش های مطالعه شده در این زمان یکسان نیست اما این کاهش بخوبی در برش Budeshimer Bach قابل مشاهده است (Berner 1970; Leventhal & Tylor 1990; Pujol 2005).

ژئوشیمیایی میزان افزایش دفن شدگی کربن آلی در افق های کلاسر بخصوص در برش Budeshimer Bach مربوط به ورود کربن آلی به حوضه در زمان مذکور می باشد (Sageman et al. 2003; Sageman & Lyons 2004).

میزان $P_2O_5^*$ غیر آواری که از فرمول $P_2O_5^* = P_2O_5 / (Al_2O_5 \times 15\%)$ محاسبه می گردد، حاکی از میزان ورود مواد غذایی به حوضه می باشد در اکثر برش های حوضه اروپا غنی شدگی $P_2O_5^*$ در زیست زون *linguiformis* Zone که نشانگر افق کلاسر بالایی است (UKWH) و در قاعده زیست زون *late rhenana* Zone که نشانگر (LKWH) می باشد و همچنین میکروپروب افق های چرتی در این فاصله زمانی منجر به شناسایی کانی های



شکل ۱۳- فلوجارت ارتباط فرآیندهای مختلف بیان شده اثرگذار در دونین بالایی و مرز فرازین - فامنین و تأثیر آن روی فونای زیستی دریایی و حوادث زیستی (پوجول ۲۰۰۵)

¹ Pujol, 2005

جمله دلایل افزایش فعالیت‌های ولکانیکی در مرز فرازین - فامنین در برش‌های فوق‌الذکر می‌باشند.

مقایسه و نتیجه‌گیری

بنابر این باتوجه به شواهد به دست آمده از برش‌های مطالعه شده در ایران مرکزی در این تحقیق نسبت به سایر برش‌های مطالعه شده در ایران می‌توان چنین نتیجه گرفت که اگر چه در هیچکدام از برش‌های مطالعه شده در ایران مرزفرازین - فامنین پیوسته نبوده و افق‌های کلواسر ۱ و ۲ به طور همزمان دیده نمی‌شوند اما برش‌های حوض دوره و قلعه کلاغو از کاملترین برش‌های مطالعه شده در ایران می‌باشند و مرز فرازین - فامنین منطبق بر قاعده افق ماسه سنگی سفید رنگ می‌باشند که می‌تواند معادل افق کلواسر بالایی محسوب گردد. از بین افق‌های مطالعه شده در ایران فقط برش‌های چاهریسه و کال سردر دارای افق‌های تیره شیلی می‌باشند که نیازمند مطالعه بیشتر و دقیقتر هستند. در برش‌های حوضه اروپا شواهد ژئوشیمیایی حاکی از نقش همزمان عوامل تکتونو- ماگماتیکی نظیر ولکانیسم، عوامل هیدروترمال و حرکات تکتونیکی در شکل‌گیری افق‌های انقراضی کلواسر بالایی و پایینی در حاشیه جنوبی لورازیا و حاشیه شمالی گندوانا می‌باشد. شواهد ژئوشیمیایی حاکی از افزایش میزان سطح آب به همراه ورود مواد غذایی و شدت فعالیت‌های ماگمایی و کاهش میزان اکسیژن عمق آب همگی از جمله عواملی بوده‌اند که در نهایت منجر به انقراض زیستی در افق‌های کلواسر ۱ و ۲ شده‌اند. اگرچه در بین عوامل ذکر شده نقش تغییرات سریع سطح آب بعلت وضعیت نیمه محصور پالئوتیتس در این زمان که ناشی از فرآیند ریفتینگ و تکتونیکی بوده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. البته با توجه به بیوفاسیس کنودونت‌های مطالعه شده در حوضه اروپا و حضور فونای عمیق در زمان مذکور در این حوضه و عدم حضور این فونا در برش‌های مطالعه شده در ایران را باید ناشی از استقرار برش‌های مورد مطالعه اروپا در

برای به دست آوردن نرخ مواد آواری ورودی به حوضه معمولاً نسبت Ti/Al و Si/Al مورد بررسی قرار می‌گیرد، به صورتی که نرخ بالای Ti/Al حاکی از افزایش ورود مواد آواری به حوضه است زیرا Ti معمولاً در ترکیب کانی‌های سنگین یافت می‌شود و Al نیز از عناصر اصلی در کانی‌های رسی است. بنابراین افزایش تمرکز همزمان این دو عنصر از دلایل کاهش سطح آب دریاها و پیشروی مواد آواری به درون حوضه می‌باشد. همچنین نرخ بالای Si/Al نیز بیانگر افزایش ورود مواد آواری محتوی کوارتز مانند رسوبات رسی ائولین به درون حوضه می‌باشد. در برش کوالا^۱ کاهش نرخ ورود مواد آواری در زیست زون کنودونتی *linguiformis* Zone که با کاهش میزان Al_2O_3 و کانی‌های رسی اندازه‌گیری شده است حاکی از پیشروی آب دریا می‌باشد. در این برش افزایش قابل توجه میزان Si در زیست زون مذکور نتیجه حضور فراوان اسفنج‌های سیلیسی و رادیولرها می‌باشد و همچنین میزان بالای Ti/Al در نتیجه افزایش فعالیت‌های ولکانیکی درون حوضه در این زمان است. در برش بودشیرم باخ^۲ و برش استینبرخ اش‌میت^۳ در زیست زون کنودونتی *linguiformis* Zone تغییر شکست ناگهانی در روند افزایشی Al_2O_3 حاکی از افزایش سطح آب و افزایش میزان Si/Al نیز حاکی از حضور رادیولارین‌ها در حوضه می‌باشد. افزایش میزان Na/K و کاهش Ti/Al نیز از شواهد فعالیت‌های ولکانیکی درون حوضه می‌باشد.

در برش‌های کومیاک^۴ و لاسرر^۵ کاهش قابل توجه میزان Al_2O_3 و کوارتز از دلایل بالا بودن سطح آب و کاهش میزان مواد ورودی آواری به درون حوضه می‌باشد. همچنین افزایش نسبت Si/Al نیز بیانگر افزایش سطح آب دریا و افزایش نسبت Ti/Al و Na/K نیز از

¹ Kowala

² Budesheimer Bach

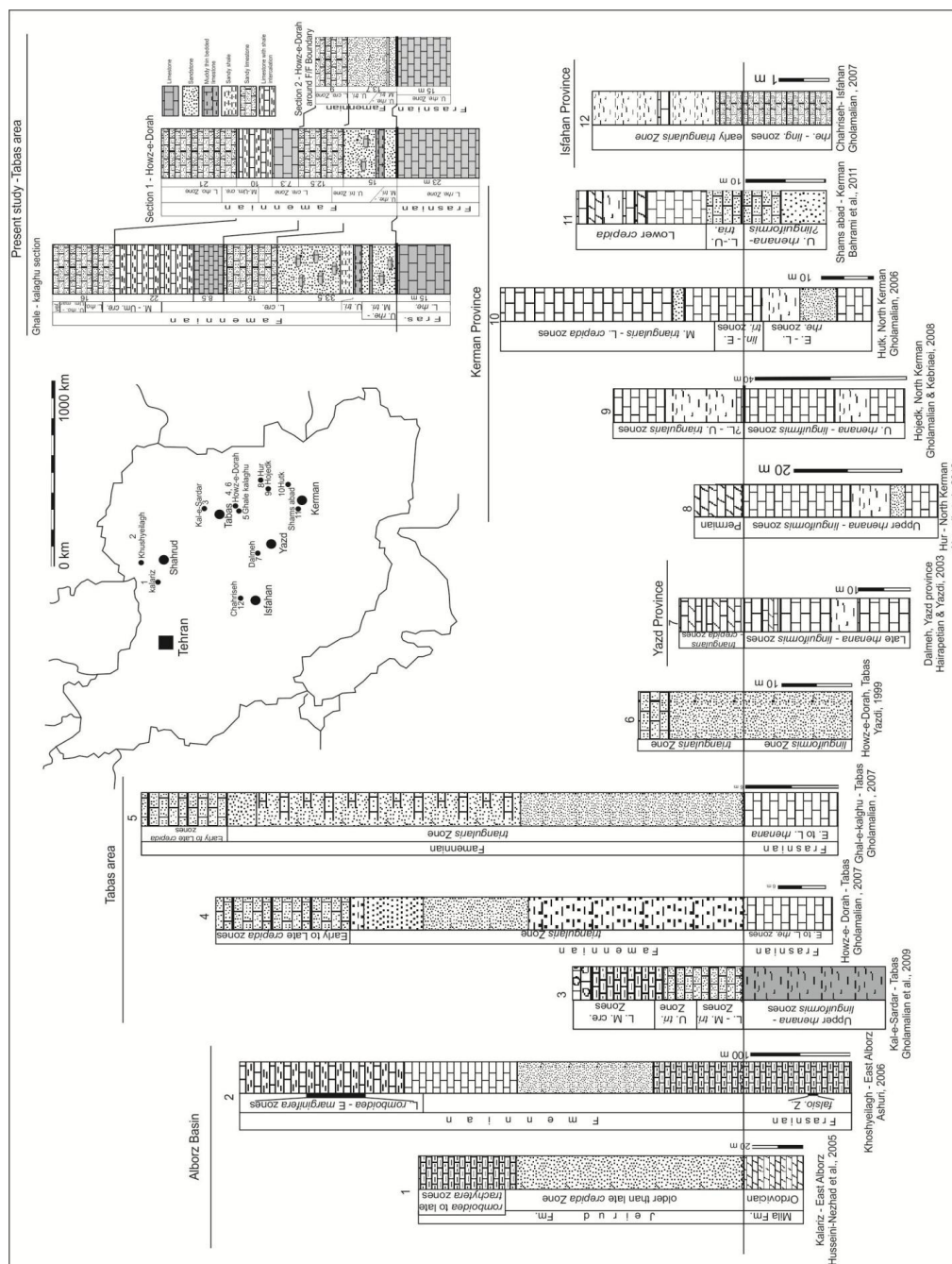
³ Steinbruch Schmidt

⁴ Coumiac

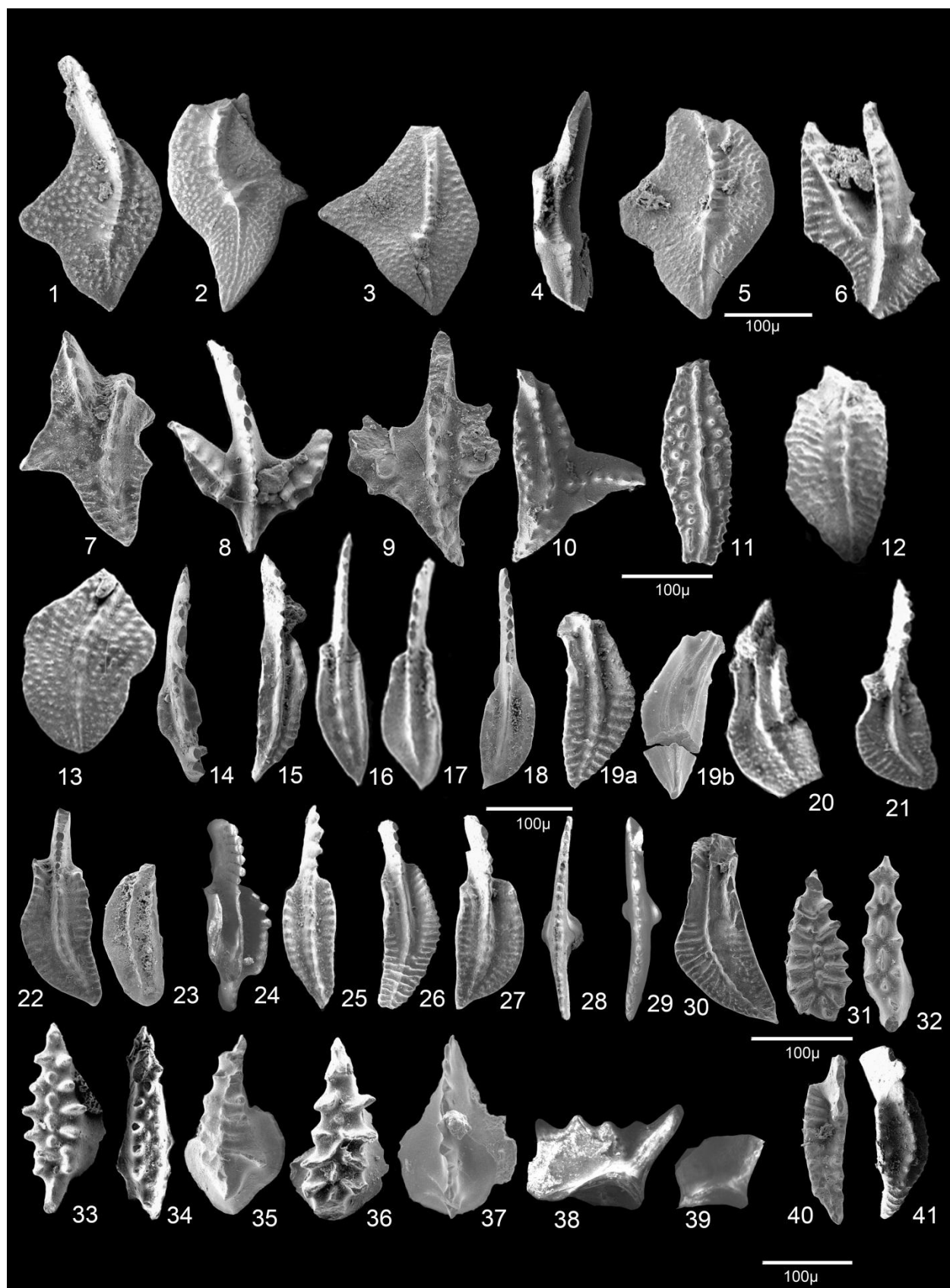
⁵ La Serre

مطالعه شده در ایران دانست.

بخش‌های عمیق‌تر حوضه پالئوتیس نسبت به برش‌های



شکل ۱۴- تطابق بیواستراتیگرافیک برش‌های حوضه طبس، کرمان، یزد، اصفهان و البرز از دیدگاه موقعیت مرز فرازنین - فامنین



EXPLANATION OF PLATE 1

Fig. 1- *Palmatolepis triangularis* Sannemann, 1955; Upper view of EUIC 10001, sample GH 7 (Upper *triangularis* Zone); **Fig. 2** - *Palmatolepis perlobata perlobata* Ziegler, 1960; Upper view of EUIC 10006, sample GH 10 (Lower *crepida* Zone); **Fig. 3** - *Palmatolepis winchelli* (Stauffer, 1938); Upper view of EUIC 10008, sample GH 6 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 4** - *Palmatolepis glabra pectinata* Ziegler, 1962; Upper view of EUIC 10010, sample HDA 17 (Lower *rhomboidea* Zone); **Fig. 5** - *Palmatolepis quadrantinosalobata* Sannemann, 1955; Upper view of EUIC 10011, sample HDA 14 (Middle to Uppermost *crepida* Zone); **Fig. 6** - *Ancyrodella lobata* (Branson & Mehl, 1934) M2; Upper view of EUIC 10013, sample GH 2 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 7** - *Ancyrodella curvata* (Branson & Mehl, 1934) M2; Upper view of EUIC 10016, sample GH 2 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 8** - *Ancyrodella ioides* Ziegler, 1959; Upper view of EUIC 10017, sample GH 4 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 9** - *Ancyrodella nodosa* Ulrich & Bassler, 1926; Upper view of EUIC 10020, sample HDA 5 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 10** - *Ancyrognathus triangularis* Youngquist, 1945; Upper view of EUIC 10021, sample GH 5 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 11** - *Ancyrognathus sinelaminus* Branson & Mehl, 1934; Upper view of EUIC 10023, sample GH 9 (Lower *crepida* Zone); **Fig. 12** - *Polygnathus* cf. *papilata* Youngquist & Peterson, 1947; Upper view of EUIC 10024, sample GH 7 (Upper *triangularis* Zone); **Fig. 13** - *Polygnathus nodocostatus nodocostatus* Branson & Mehl 1934; Upper view of EUIC 10025, sample GHA 2 (Lower *crepida* Zone); **Fig. 14** - *Polygnathus angustidiscus* Youngquist, 1945; Upper view of EUIC 10027, sample HDA 2 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 15** - *Polygnathus xylus* Stauffer, 1938; Upper view of EUIC 10029, sample GH 3 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 16** - *Polygnathus politus* Ovnatanova, 1969; Upper view of EUIC 10035, sample GH 1 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 17** - *Polygnathus praepolitus* Kononova et al., 1996; Upper view of EUIC 10039, sample GH 4 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 18** - *Polygnathus communis communis* Branson & Mehl, 1934; Upper view of EUIC 10043, sample HDA 17 (Lower *rhomboidea* Zone); **Fig. 19a, b** - *Polygnathus buzmakovi* Kuzmin, 1990; Upper (a) and lower (b) views of EUIC 10048, sample GHA 4 (Middle to Uppermost *crepida* Zone); **Fig. 20** - *Polygnathus evidens* Klapper & Lane, 1985; Upper view of EUIC 10049, sample GH 1 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 21** - *Polygnathus webbi* Stauffer, 1938; Upper view of EUIC 10051, sample GH 1 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 22** - *Polygnathus aequalis* Klapper & Lane, 1985; Upper view of EUIC 10058, sample HBA 1 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 23** - *Polygnathus alatus* Huddle, 1934; Upper view of EUIC 10063, sample GH 1 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 24** - *Polygnathus brevilaminus* Branson & Mehl, 1934; Upper view of EUIC 10064, sample GHA 1 (Lower *crepida* Zone); **Fig. 25** - *Polygnathus tenellus* Ji & Ziegler, 1993; Upper view of EUIC 10066, sample HDA 4 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 26** - *Polygnathus ratebi* Yazdi, 1999; Upper view of EUIC 10067, sample GH 9 (Lower *crepida* Zone); **Fig. 27** - *Polygnathus procerus* Sannemann, 1955b; Upper view of EUIC 10069, sample GH 4 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 28** - *Bispathodus stabilis* (Branson & Mehl, 1934); Upper (a) and lower (b) views of EUIC 10073, sample GHA 9 (*velifer* Zone); **Fig. 29** - *Branmehla bohlenana* (Helms, 1959); Upper view of EUIC 10075, sample GHA 9 (*velifer* Zone); **Fig. 30** - *Polygnathus krestovnikovi* Ovnatanova, 1969; Upper view of EUIC 10076, sample HDA 2 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 31** - *Icriodus xenium* Nazarova, 1997; Upper view of EUIC 10079, sample GH 3 (Lower *rhenana* Zone); **Fig. 32** - *Icriodus alternatus alternatus*, Sandberg & Dreesen, 1984; Upper view of EUIC 10084, sample GHA 5 (Middle to Uppermost *crepida* zone); **Fig. 33** - *Icriodus cornutus* Sannemann, 1955; Upper view of EUIC 10090, sample HDA 13 (Lower *crepida* Zone); **Fig. 34** - *Icriodus alternatus helmsi* Sandberg & Dreesen, 1984; Upper view of EUIC 10095, sample GHA 1 (Lower *crepida* Zone); **Fig. 35** - *Icriodus iowaensis iowaensis* Youngquist & Peterson, 1947; Upper view of EUIC 10100, sample GHA 5 (Middle to Uppermost *crepida* zone); **Fig. 36** - *Icriodus deformatus deformatus* Han, 1987; Upper view of EUIC 10105, sample HDA 6 (Upper *triangularis* Zone); **Fig. 37** - *Pelekygnathus serradentatus* Capkinoglu, 1991; Upper view of EUIC 10106, sample GH 7 (Upper *triangularis* Zone); **Fig. 38** - *Pelekygnathus inclinatus* Thomas, 1949; Lateral view of EUIC 10109, sample HDA 11 (Lower *crepida* Zone); **Fig. 39** - *Pelekygnathus brevis* Sandberg & Dreesen, 1984; Lateral view of EUIC 10113, sample GH 5 (Lower *rhenanae* Zone); **Fig. 40** - *Scaphignathus velifer velifer* Helms, 1959; Upper view of EUIC 10115, sample GHA 9 (*velifer* Zone); **Fig. 41** - *Polygnathus semicostatus* Branson & Mehl, 1934; Upper view of EUIC 10116, sample GHA 4 (Middle to Uppermost *crepida* Zone).

منابع

- Range, Tabas area, Central-East Iran Microplate. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, v. 50, p. 35-53.
- Bahrami, A., H. Gholamalian, C. Corradini & M. Yazdi, 2011b, Upper Devonian conodont biostratigraphy of Shams Abad section, Kerman Province, Iran. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, v. 117, p. 199-209.
- Bahrami A., Corradini C., Over D.J. & Yazdi M. (2013). Conodont biostratigraphy of the upper Frasnian- lower Famennian transitional deposits in the Shotori Range, Tabas area, Central - East Iran Microplate. *Bulletin of Geosciences*, v. 88 (2), p. 369-388.
- Bahrami A, C. Corradini, D.J. Over and M. Yazdi, 2013, Conodont biostratigraphy of the upper Frasnian- lower Famennian transitional deposits in the Shotori Range, Tabas area, Central- East Iran Microplate. *Bulletin of Geosciences*, v. 88 (2), p. 369 – 388.
- Becker, R.T., & M.R. House, 1994, Kellwasser events and goniatite successions in the Devonian of the montagne noire, with comments on possible causations. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, v. 169, p. 45-77.
- Berner, R.A., 1970, Sedimentary Pyrite formation, *American Journal of Science*, v. 268, p. 1-23.
- Bratton, J.F., W.B.N. Berry, J.R. Morrow, 1999, Anoxia pre-dates Frasnian –Famennian boundry mass extinction horizon in the Great Basin, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 154, p. 275-292.
- Buggisch, W., 1991, The global Frasnian-Famennian „Kellwasser Event“. *Geology*, v. 80, p. 49-72.
- حسینی نژاد، س. م.، یزدی، م.، قبادی پور، م. و ح.، غلامعلیان، ۱۳۸۶، چینه نگاری سنگ های دونین فوقانی در برش کلاریز، فصلنامه علوم زمین – شماره ۶۳، صفحه ۷۸-۸۵.
- غلامعلیان، ح.، ۱۳۸۲، بیواستراتیگرافی مرز فرازنین- فامنین در دو ناحیه اصفهان و طبس، پایان نامه دکتری، دانشگاه اصفهان، ۱۱۹ صفحه.
- Algeo, J.T., R.A. Berner, J.B. Maynard, S.E. Scheckler, 1995, Late Devonian oceanic anoxic events and biotic crises; “rooted” in the evolution of vascular land plants?: *Geological Society of America (GSA) Today*, v. 5, p. 64-66.
- Ahmadi, T., Dastanpour M. & Vaziri M. R. (2012). Upper Frasnian (Upper Devonian) *Polygnathus* and *Icriodus* conodonts from the Bahram Formation, Hur section, Kerman Province, southeastern Iran. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, v. 118 (2), p. 203-212.
- Ashouri A.R., 2002, *Palmatolepis* (conodonta; Late Devonian) from the Tabas region, east Iran. *International Journal of Science, Iran*, v. 3(2), p. 187-220.
- Ashuri, A.R., 2004, Late Devonian and Middle-Late Devonian conodonts from eastern and northern Iran. *Revista Española de Micropaleontología*, v. 3, p. 355-365.
- Ashouri A.R., 2006, Middle Devonian-Early Carboniferous conodont faunas from the Khoshyeilagh Formation, Alborz Mountains, north Iran. *Journal of Sciences, Iran* v. 17, p. 53-65.
- Bahrami, A., C. Corradini & M. Yazdi, 2011, Upper Devonian-Lower Carboniferous conodont biostratigraphy in the Shotori

- Geosciences Scientific Quarterly Journal*, v. 15(59), p. 94-101, (in Persian with English abstract).
- Gholamalian, H., 2007, Conodont biostratigraphy of the Frasnian-Famennian boundary in the Esfahan and Tabas areas, central Iran. *Geological Quarterly*, v. 51, p. 453-476.
- Gholamalian H. & Kebriaei M.R., 2008, Late Devonian conodonts from the Hojedk section, Kerman Province, southeastern Iran. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, v. 114(2), p. 171-181.
- Giarard, C., C. Le`cuyer, 2002, Variations in Ce anomalies of conodonts through the Frasnian-Famennian of Poland (Kowala-Holy Cross Mountains); implications for the redox state of seawater and biodiversity. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 181, p. 299-311.
- Golonka, J., M.I. Ross, C.R. Scotese, 1994, Phanerozoic paleogeographic and paleoclimatic modeling maps. In: A.F. Embry, Beauchamp, and D.J. Glass (eds.), *Pangea; global environments and resources*. Canadian Society Petrology Geology Memoir .v. 17, p. 1-47.
- Hairapetian, V. & Yazdi, M. 2003. Late Devonian conodonts from the Dalmeh sections, Northeast Ardekan, Central Iran. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, v. 245, p. 209-225.
- House, M. R., 2002, Strenght, timing, setting and cause of mid-palaeozoic extinctions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 181, p. 5-25.
- Ji, Q. & W. Ziegler, 1993, The Lali section: an excellent reference section for Late Devonian in south China. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, v. 157, p. 1-183.
- Bultynck, P., 2003, Devonian Icriodontidae: biostratigraphy, classification and remarks on paleoecology and dispersal. *Revista Española de Micropaleontologia*, v. 35, p. 295-314.
- Caplan, M.I., R.M. Bustin, K.A. Grimm, 1996, Demise of a Devonian-Carboniferous carbonate ramp by eutrophication. *Geology*, v. 24, p. 715-718.
- Copper, P., 2002, Reef development at the Frasnian/Famenian mass extinction boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 181, p. 27-65.
- Corradini, C. 2008, Revision of Famennian-Tournaisian (Late Devonian-Early Carboniferous) conodont biostratigraphy of Sardinia, Italy. *Revue de Micropaleontologie*, v. 51, p. 123-132.
- George, A.D., N. Chow, 2002, The depositional record of the Frasnian-Famennian interval in a fore-reef succession, Canning Basin, Western Australia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 181, p. 347-374.
- Giles, K.A., N.J. McMillan, B.L. McCarron, 2002, Geochemical analysis and paleoecological implications of phosphatic microspherules (otoliths?) from Frasnian-Famennian boundary strata in the great basin, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 181, p. 111-125.
- Gholamalian, H., M. Ghorbani & S. H. Sajadi, 2009, Famennian conodonts from Kal-e-Sardar section, Eastern Tabas, Central Iran. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, v. 115 (2), p. 141-158.
- Gholamalian H. (2006) - Biostratigraphy of Late Devonian sequence in Hutk section (North of Kerman) based on conodonts.

- McGhee, G.R., 2001, The 'multiple impacts hypothesis' for mass extinction: a comparison of the late Devonian and the late Eocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.176, p. 47-58.
- Murphy A.E., Keppie, J.D., 1998, Late Devonian Palinspatic reconstruction of the Avalon-Meguma Terrane boundary: implication for terrane accretion and basin development in the Appalachian orogeny, *Tectonophysics*, v. 284, p. 221-231.
- Murphy A.E., B.B. Sagman, D.J. Holander, Lyons T.W., C.E. Brett, 2000, Black shale deposition in the late Devonian Appalachian Basin: siliclastic starvation, episodic water-column mixing and efficient recycling of biolimiting nutrients. *Paleoceanography*, v. 15, p. 280-291.
- Nickishin, A.M., Ziegler, P., Stephenson, R.A., Cloetingh, S.A.P.L., Furne, A.V., Fokin, P.A., Yershov, A.V., Bolotov, S.N., Koratayev, M.V., Alekseyev, A.S., Gorbachev, V., Shipilov, E.v., Lankreijer, A., Bembinova, E.Y., Shalimov, I.V., 1996. Late Precambrian to Triassic history of the East European Craton; dynamics of sedimentary basin evolution. *Tectonophysics*, v. 268, p. 23-63.
- Ovnatonova, N.S. & L.I. Kononova, 2001, Conodonts and Late Devonian (Frasnian) biostratigraphy of central regions of Russian platform. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* v. 233, p. 1-115.
- Paris, F., C. Giard, R. Fiest, T. Winchester-seeto, 1996, Chitinozoan bio-event in the Frasnian-Famennian boundary beds of La Serre (Montagne Noire, Southern France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 121, p. 131-145.
- Joachimski, M.M., Ostratag-Henning, C., Pancost, R.D., Strauses, H., Freeman, K.H., Littke, R., Sinninghe Damste, J.P. Racki, G., 2001, Water column anoxia, enhanced productivity and concomitant changes in $\delta^{13}C$ and $\delta^{34}S$ across the Frasnian – Famennian boundary (Kowala-Holy cross mountains/Poland), *Chemistry Geology*, v. 175, p. 109-131.
- Joachimski, M.M., W. Buggisch, 1993, Anoxic event in the late Frasnian-causes of the Frasnian-Famennian faunal crisis?. *Geology*, v. 21, p. 675-678.
- Joachimski, M.M., W. Buggisch, 2002, Conodont apatite $\delta^{18}O$ signatures indicate climatic cooling as a trigger of the late Devonian mass extinction. *Geology*, v. 30, p. 711-714.
- Joachimski, M.M., R.D. Pancost, K.H. Freeman, C. Ostratag-Henning, W. Buggisch, 2002, Carbon isotope geochemistry of the Frasnian-Famennian transition. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 181, p. 91-109.
- Johnson, J.G., G. Klapper, C.A. Sandberg, 1985, Devonian eustatic fluctuations in Euramerica. *Geological Society of America Bulletin*, v. 96, p. 567-587.
- Klapper, G., R. Fiest, R.T. Becker, M.R. House, 1993, Definition of the Frasnian/Famennian Stage boundary, v. 16, p. 433-441.
- Leventhal, J., Taylor, C., 1990, Comparison of methods to determine degree of Pyritization. *Geochemistry*, v. 54, p. 2159-2171.
- McGhee, G.R., 1982, The Frasnian-Famennian extinction event, A preliminary analysis of Appalachian marine ecosystem. *Geological Society of America Special paper*, v. 190, p. 491-500.

- Appalachian basin, *Chemistry Geology*, v. 195, p. 229-273.
- Sageman, B.B., Lyons, T.W., *Geochemistry of fine-grained sediments and sedimentary rocks*. In: Mackenzi, F.T., Holland, H.D., Turekian, K.K. (eds.), *sediments, diagenesis and sedimentary rocks. Treatise on Geochemistry* v. 7, p. 116-148.
- Sandberg, C.A. & R. Dreesen, 1984, Late Devonian icriodontid biofacies models and alternate shallow water conodont zonation. In: Clark D.L. (ed.), *Conodont biofacies and provincialism. Geological Society of America Special Paper* v. 196, p. 143-178.
- Schindler, E., 1990, Die Kellwasser Krise (Hohe Frasn-Stufe, Ober-Devon). *Gott. Arb. Geol. Palaontol.* v. 46, p. 1-117.
- Scotese, C.R. & W.S. McKerrow, 1990, Revised world maps and introduction. In: McKerrow, W.S., Scotese, C.R., (eds.), *palaeozoic palaeogeography and biostratigraphy, Memoir Geological Society of America* v. 12, p. 1-21.
- Stocklin, J. & M.H. Nabavi, 1971, Explanatory text of the Boshruyeh Quadrangle map 1:250,000. *Geological Survey of Iran, Geological Quadrangle* v. J7, p. 1-50.
- Stocklin, J., J. Eftekhar-Nezhad & A. Hushmand-Zadeh, 1965, (reprinted 1991). *Geology of the Shotori range (Tabas area, east Iran)*. Geological Survey of Iran, Reports 3, p. 1-69.
- Streel, M., M.V. Caputo, S. Lobziak, J.H.G. Melo, 2000, Late Frasnian-Famennian climates based on palynomorph analyses and the question of the late Devonian glaciations. *Earth. Science Review*, v. 52, p. 121-173.
- Tait, J., V. Bactadse, W. Franke, H. Sofel, 1997, Geodynamic evolution of the European Variscan fold belt : paleomagnetic and Pique', A., G. Bossiere, J.P. Boulin, A. Chalouan, C. Hoepffner, 1993, Southern margin of the Variscan belt The north-western Gondwana mobile (eastern Morocco and northern Algeria). *Geol. Rdsch.* v. 82, p. 432-439.
- Poty, E., 1999, Famennian and Tournaisian recoveries of Shallow water Rogusa following late Frasnian and late Strunian major crises, southern Belgium and surrounding areas, Hunan (South China) and the Omolon region (NE Siberia). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* v. 154, p. 11-26.
- Pujol, F., 2005, Chemostratigraphy of some key European Frasnian-Famennian boundary sections (Germany, Poland, France). 131pp. Ph.D. thesis. Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe.
- Racki, G., 1998, Frasnian-Famennian biotic crisis; undervalued tectonic control? *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* v. 141, p. 177-198.
- Racki, G., F. Cordey, 2002, Radiolarial paleoecology and radiolarites: is the present the key to the past? *Earth-Sci. Rev.* v. 52, p. 83-120.
- Racki, G., M. Racka., H. Mayja, X. Devleeschouwer, 2002, the Frasnian/Famennian boundary interval in the South Polish-Moravian shelf basins; integrated event- stratigraphical approach. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* v. 181, p. 251-297.
- Sageman, B.B., Murphy, A.E., Werne, J.P., Ver Straeten, C. A., Hollander, D.J. and T.W., Lyons, 2003, A tale of shales: the relative roles of production, decomposition and dilution in the accumulation of organic-rich strata, Middle - Upper Devonian,

- of the Pripyat-Dnieper-Donets Rift, East European Platform. *Tectonophysics*, v. 268, p. 65-81.
- Yazdi, M. 1999. Late Devonian-Carboniferous conodonts from Eastern Iran. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, v. 105, p. 167-200.
- Young, C.G., J.M. Moody, J.E. Casas, 2000, New discoveries of Devonian vertebrate from South America, and hmplications for Gondwana-Euramerica contact. *Academic Science II. A.*, v. 331, p. 755-761.
- Yudina, B.A., G. Racki, N.M. Savage, M. Racka, K. Malkowski, 2002, The Frasnian-Fammenian events , Subpolar Urals: biotic , depositional, and geochemical records. *Acta Palaeontologica Polonica*, v. 47, p. 355-372.
- Ziegler, W. & C.A. Sandberg, 1984, *Palmatolepis*-based revision of upper part of standard Late Devonian conodont zonation. *Geological Society of America Special Paper*, v. 196, p. 179-194.
- Ziegler, W. & C.A. Sandberg, 1990, the Late Devonian Standard Conodont Zonation. *Courier Forschungs-Institut Senckenberg*, v. 121, p. 1-115.
- geological constraints. *Geol. Rdsch.* v. 86, p. 585-598.
- Tribovillard, N., O. Averbuch, X. Devleeschouwer, G. Racki, A. Riboulleau, 2004, Deep water anoxia over the Frasnian-Fammenian boundry (LaSerre, France): a Tectonically induced oceanic anoxic event?. *Terra Noova* v. 16, p. 288-295.
- Tucker, R.D., D.C. Bradley, C.A. Ver Straeten, A.G. Harris, J.R. Ebert, S.R. McCutcheon, 1998, New U-Pb Zircon ages and duration and division of the Devonian time. *Earth Planetology Society*, v. 158, p. 175-186.
- Wendt, J., J. Hayer & A. Karimi bavandpour, 1997, Stratigraphy and depositional environment of Devonian sediments in northeast and east-central Iran. *Neues Jahrbuch für Geologie und Palaontologie, Abhandlungen*, v. 206, p. 277-322.
- Wendt, J., B. Kaufmann, Z. Belka, N. Farsan, & A. karimibavandpour, 2005, Devonian/Lower Carboniferous stratigraphy, facies patterns and palaeogeography of Iran. Part II. Northern and Central Iran. *Acta Geologica Polonica* ,v. 55, p. 31-97.
- Wilsone, M., Z.M. Lyashkevitch, 1996, Magmatism and the geodynamics of rifting