شواهد پتروگرافی، ژئوشیمیایی و ایزوتوپی آلایش پوسته‌ای دربازالت‌های منطقهٔ جواهردشت (شرق گیلان)

شهروز حق نظر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان
سارا ملکوتیان: دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند
خلیل اللهیاری: دانشگاه شهیدبهشتی
سعید تاکی: دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

چکیده

بازالت‌های جواهردشت در دامنهٔ شمالی البرز واقع در شرق گیلان برون‌زد چشمگیری دارند. شواهد پتروگرافی، ژئوشیمیایی و ایزوتوپی نشان از آلایش این بازالت‌ها با پوستهٔ قاره‌ای دارد. شواهد پتروگرافی از قبیل: خوردگی خلیجی و حاشیه‌های مضرس در فنوکریست‌های پیروکسن و متفاوت بودن ترکیب شیمیایی حاشیهٔ فنوکریست‌های کلینوپیروکسن با کلینوپیروکسن‌های خمیره به سبب آلایش پوسته‌ای و عدم تعادل و تغییر ترکیب خمیره نسبت به فنوکریست‌های از قبل تشکیل شده در سنگ ایجاد شده است. فقر در عناصری چون Zr، Nb، TiO_2، P_2O_5 و غنی شدگی از عناصر LIL و نسبت‌های فراوان Pb/Nd وBa/Nb ومحتوی اندک Zr/Nb، Y/Nb، Ce/Pb و همبستگی مثبت SiO_2 با $^{87}Sr/^{86}Sr$ وهمچنین همبستگی مثبت MgOبا εNd ازشواهد ژئوشیمیایی و ایزوتوپی آلایش پوسته‌ای این بازالت‌ها است. بررسی‌های ما نشان می‌دهد که این بازالت‌ها دارای تعادل عنصری شاخصی با سنگ‌های پوسته زیرین و میانی هستند و با آن‌ها آلایش یافته‌اند

مقدمه

مسئلهٔ آلودگی پوسته‌ای، از جمله فرآیندهای درگیر در تفریق ماگماهای اولیه است، که ماگماهای تشکیل شده در ناحیه منشأ گوشته‌ای را ضمن صعود تحت تأثیر قرار می‌دهد. ترکیب ماگماهای اولیه نشأت گرفته از گوشته بر اثر برهمکنشی با مواد پوسته‌ای در طی صعود، از نظر ژئوشیمیایی مورد تغییر و تعدیل قرار می‌گیرند. این تغییرات باعث می‌شود که بررسی خصوصیات ناحیه منشأ و محاسبات مربوط به درجهٔ ذوب بخشی و حتی تعیین محیط ژئودینامیکی تشکیل را که بر اساس نمونه‌های اولیه و بدون آلایش بنیان‌گذاری شده‌اند، با مشکل و دشواری مواجه سازد. در بررسی‌های ایزوتوپی نیز باید متوجه نقش آلایش پوسته‌ای بود؛ زیرا ماگماهای بازالتی که از میان پوستهٔ قاره‌ای فوران می‌کنند ممکن است با سنگ‌های پی سنگ غنی از $^{87}Sr/^{86}Sr$ تأثیر متقابل داشته باشند و در نتیجه ترکیبات ایزوتوپی آن‌ها را نمی‌توان به ویژگی‌های گوشتهٔ منشأ نسبت داد [۱].

واژه‌های کلیدی: بازالت‌های جواهردشت، آلایش پوسته‌ای، ایزوتوپ‌های Nd وSr، ژئوشیمی، پتروگرافی
دریافت ۸۷/۶/۲۰ پذیرش ۸۸/۷/۲۷

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

بنا بر این اثبات و نقش آلودگی‌های پوسته‌ای ماگماها و تعیین این موضوع که ماگماهای بازالتی در حال صعود تا چه حد و با کدام پوسته برهمکنش و آلایش داشته‌اند دربررسی‌های ژئوشیمیایی و ژئودینامیکی بازالت‌های فوران یافته در جایگاه‌های میان‌صفحه‌ای قاره‌ای اهمیت ویژه دارد. بررسی علائم ژئوشیمیایی و ایزوتوپی سنگ‌ها، اجازهٔ شناسایی ترکیب گوشته و فرآیندهایی چون آلایش پوسته‌ای را به ما می‌دهد. همهٔ بازالت‌های قاره‌ای و بیش‌تر سنگ‌های جزایر اقیانوسی (OIB) الگوهای عناصر کم‌یاب غنی شده را نشان می‌دهند. این غنی شدگی از عناصر ناسازگار به وسیلهٔ نفوذهای متاسوماتیکی یا مذاب‌های سیلیکاته - کربناته به‌وجود آمده و یا به وسیلهٔ پذیرش اجزای غنی شده مثل پوستهٔ قاره‌ای یا لیتوسفر با استنوسفر و مواد گوشته‌ای فقیرشده توضیح داده می‌شوند[۲]. پذیرش اجزای غنی شده مثل پوستهٔ قاره‌ای به وسیلهٔ استنوسفر و مواد گوشته‌ای می‌تواند به غنی‌شدگی از عناصرکم‌یاب کمک کند، اما پیش از هرچیز این موضوع با مشخصات ایزوتوپی احراز هویت می‌شود[۲]. در این پژوهش ما به کمک علائم ژئوشیمیایی و ایزوتوپی بازالت‌های جواهر دشت، مسئلهٔ آلایش این بازالت‌ها را با پوستهٔ قاره‌ای، بررسی و اثبات می‌کنیم.

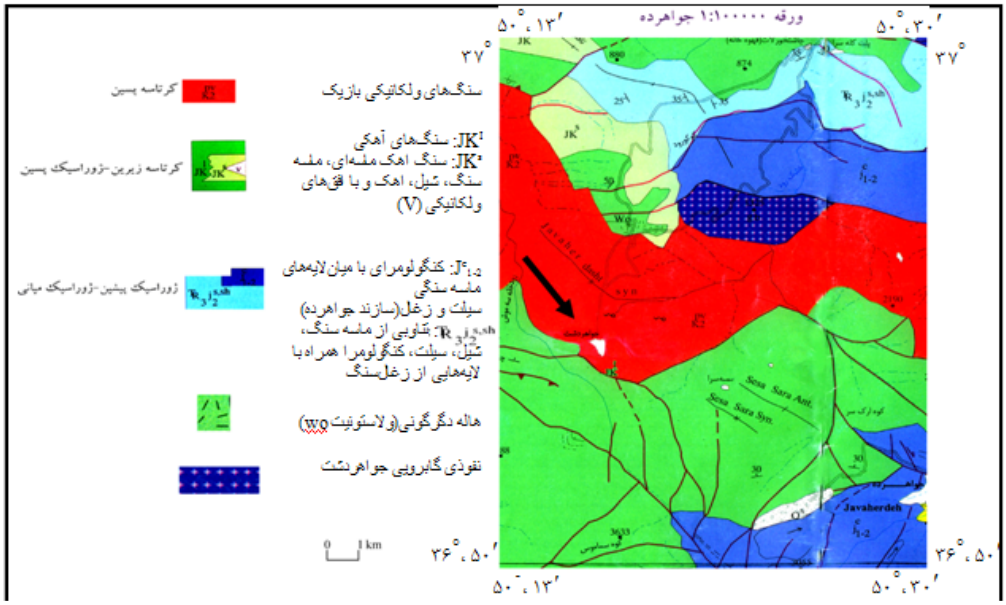
موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

روستای ییلاقی جواهردشت در ۴۵ کیلومتری جنوب شرق شهرستان رودسر واقع در شرق گیلان و در موقعیت ′ ۵۳، °۳۶ و عرض شمالی و ′ ۵۳، °۵۰ طول شرقی قرار گرفته است (شکل۱). محدوده پژوهش در گوشهٔ شمال شرقی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ جواهرده [۳] بین طول‌های جغرافیایی′ ۱۳، °۵۰ و′ ۳۰، °۵۰ شرقی و ′ ۵۰، °۳۶ و ′ ۰۰، °۳۷ شمالی در بخش غربی زون البرز مرکزی و در دامنهٔ شمالی آن واقع شده است. به لحاظ سنی بیش‌تر رخنمون‌های سنگی منطقه متعلق به دوران مزوزوئیک، و برون‌زد غالب سنگ‌های آذرین منطقه، توده‌های ماگمایی گابرویی و بازالتی به سن کرتاسه است[۳]. پژوهش‌های پتروگرافیکی صورت گرفته بر روی بازالت‌های منطقهٔ جواهردشت نشان می‌دهد که این سنگ‌ها دارای تنوع ترکیبی بین اولیوین بازالت‌ها، اولیوین بازالت‌های آندزیتی، آندزیت‌های بازالتی وآندزیت‌های بازالتی کوارتزدار هستند.

روش بررسی

از بخش‌های مختلف تودهٔ بازالتی جواهردشت با توجه به تنوع لیتولوژیکی، مجموعاً در حدود ۵۰ مقطع میکروسکوپی تهیه و بررسی پتروگرافی شد. سپس عناصر اصلی و جزئی موجود در ۱۲ نمونه از بازالت‌های جواهردشت در آزمایشگاه XRF (MAGIX-PRO) سازمان زمین‌شناسی کشور تجزیه شدند (جدول۱).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل ۱. بخشی از گوشهٔ شمال شرقی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ جواهرده که منطقهٔ پژوهش در روی آن واقع شده است

مقادیر نسبت‌های ایزوتوپی $^{87}Sr/^{86}Sr$ و $^{143}Nd/^{144}Nd$ پنج نمونه از بازالت‌های جواهردشت نیز در آزمایشگاه ایزوتوپی دانشگاه کارلتون اوتاوا در کشور کانادا تجزیه و اندازه‌گیری شدند (جدول۲).

شواهد پتروگرافیکی آلایش پوسته‌ای بازالت‌های جواهردشت

بررسی‌های پتروگرافی ما نشان می‌دهد که بافت غالب بازالت‌های منطقه، پورفیریک با خمیرهٔ میکرولیتی و بافت گلومروپورفیریک (تجمعی) و گاه پورفیریک با خمیرهٔ اینترگرانولار است. فنوکریست‌های کلینوپیروکسن موجود در این سنگ‌ها از نوع تیتان اوژیت است که بعضی از آن‌ها دارای ساختمان منطقه‌ای متحدالمرکز (زونینگ) بوده (شکل۲) به نحوی که یک حاشیهٔ قهوه‌ای متمایل به بنفش در آن‌ها بخوبی مشخص است (شکل۳و۴). این حاشیه در نتیجهٔ اضافه شدن Al و Ti به سبب کاهش فشار و عمق ساخته می‌شود [۲] و بر پایه واکنش ناقص با باقی‌مانده مذاب در حال تغییر ترکیب قابل تفسیر است.

نکته قابل توجه، خوردگی خلیجی و حاشیهٔ مضرس در این تیتان اوژیت‌ها است. این موضوع نشان دهندهٔ حالت عدم تعادل بین ترکیب شیمیایی فنوکریست و خمیرهٔ سنگ است (شکل۴). از سوی دیگر، در خمیرهٔ این سنگ‌ها نیز دانه‌های کلینوپیروکسن دیده می‌شود که به صورت پورفیریک ترتیبی (serialporphyric) تقسیم شده‌اند به نوعی که تدریجاً از فنوکریست‌های دانه درشت به بلورهای دانه‌ریز خمیره تبدیل می‌شوند. با توجه به حاشیهٔ غنی از Ti فنوکریست‌های کلینوپیروکسن، باید انتظار داشت که پیروکسن‌های خمیره از نظرترکیبی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

سرشار از Ti باشند. اما مقادیر اندک TiO_2 (حدود یک درصد و کمتر) در این سنگ‌ها که در بررسی ژئوشیمیایی نیز به آن اشاره می‌شود، نشان‌دهندهٔ این موضوع است که احتمالاً بعد از تشکیل فنوکریست‌های پیروکسن، آلایش پوسته‌ای، سبب افت مقدار TiO_2 در کل سنگ شده و باعث گردیده است که ترکیب خمیره تغییر کند و پیروکسن‌های خمیره فقیر از Ti شدند. دلیل پتروگرافیکی این موضوع غیرهمرنگ بودن پیروکسن‌های خمیره با حاشیه فنوکریست‌های پیروکسن است.

حاشیه‌های مضرس و خوردگی خلیجی موجود در فنوکریست‌های پیروکسن احتمالاً به دلیل عدم تعادل ناشی آلایش پوسته‌ای و تغییر ترکیب خمیره نسبت به فنوکریست‌های موجود در سنگ ایجاد شده‌اند.

جدول ۱. نتایج تجزیهٔ شیمیایی (XRF) بازالت‌های جواهردشت

نمونه	J-B-16	J-B-25	J-B-13	J-B-8	J-B-10	J-B-3	J-B-5	J-B-22	J-B-17	J-B-2	J-B-4	J-B-27
SiO2	48.29	48.30	48.77	52.28	48.24	49.02	45.98	49.69	48.23	50.22	46.17	48.63
Al2O3	15.42	13.34	17.69	15.39	15.87	16.11	12.54	15.34	12.67	14.16	13.13	15.05
Fe2O3	11.92	12.21	11.02	11.28	11.69	12.15	12.27	11.49	11.63	11.43	11.78	13.54
MgO	4.89	7.73	4.61	4.76	6.44	3.75	9.42	4.79	8.94	6.57	8.76	4.25
CaO	8.91	8.57	9.37	6.49	9.51	8.56	10.27	8.13	9.30	9.67	11.08	8.72
Na2O	2.25	2.25	2.35	2.39	2.64	2.33	1.70	1.94	2.20	2.10	1.82	2.84
K2O	2.43	1.87	1.70	2.29	0.82	3.27	1.70	3.39	1.73	2.47	1.59	2.16
MnO	0.13	0.13	0.11	0.13	0.12	0.13	0.14	0.14	0.14	0.12	0.13	0.15
TiO2	1.10	1.18	0.97	0.97	0.94	1.17	0.78	0.98	1.03	0.95	0.84	1.19
P2O5	0.35	0.22	0.24	0.22	0.22	0.36	0.28	0.29	0.38	0.21	0.23	0.28
$Mg^{\#}$	46.1	55.8	45.8	44	51.7	37.5	60.5	44	61.1	53.3	60	38.4
L. O. I.	3.34	3.69	2.68	3.3	3.05	2.58	4.23	3.45	3.11	1.77	3.94	2.87
Sn	2.4	2.4	2.3	2.7	2.3	2.2	2.5	2.2	2.0	2.5	2.1	2.2
Th	2.2	<2	3.9	<2	2.9	<2	2.1	<2	4.0	<2	<2	<2
V	259.2	232.8	221.9	205.8	203.2	242.1	226.3	236.6	200.5	245.0	248.8	268.2
Nb	12.9	11.1	10.2	13.5	12.5	13.5	7.6	11.7	12.1	8.5	6.0	13.3
Ba	357.1	540.0	391.7	499.3	253.5	375.8	269.0	398.8	298.3	388.4	290.5	380.1
Ce	40.2	48.4	37.5	51.0	31.9	35.9	35.1	38.3	33.0	39.3	32.0	35.0

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

ادامه جدول ۱

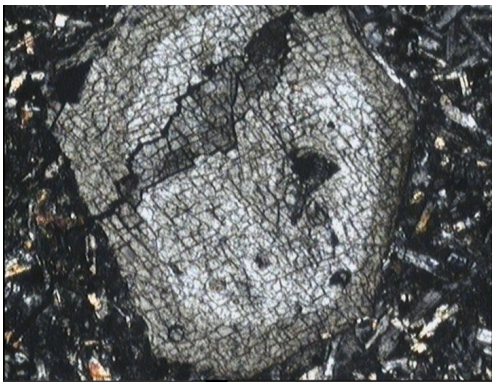
Hf	7. 2	5. 5	4. 6	8. 8	4. 4	<4	4. 6	7. 2	8. 1	11. 3	8. 5	5. 8
Pb	8. 4	9. 2	8. 1	17. 7	7. 8	8. 2	8. 1	10. 1	7. 8	7. 8	8. 2	8. 6
Nd	37. 0	43. 7	7. 3	18. 2	15. 0	31. 2	28. 0	11. 4	22. 1	18. 2	12. 6	38. 9
Ni	<5	8. 0	<5	6. 9	<5	<5	129. 4	12. 9	118. 2	35. 5	115. 5	<5
Rb	39. 8	59. 2	51. 1	71. 8	28. 9	71. 4	39. 3	69. 1	48. 7	50. 9	43. 8	39. 3
Sr	600. 2	579. 2	817. 2	594. 1	715. 9	687. 9	509. 7	642. 6	513. 3	639. 5	568. 3	612. 1
Y	31. 0	31. 7	29. 5	37. 9	24. 7	34. 3	27. 0	34. 2	31. 4	30. 2	27. 6	30. 3
Cr	28. 8	92. 3	15. 7	<10	41. 5	<10	307. 8	46. 9	221. 3	141. 0	328. 7	19. 5
Zr	140. 9	131. 8	153. 6	158. 3	151. 8	154. 3	114. 0	153. 3	135. 6	137. 4	117. 5	148. 1
Tb	1. 1	1. 1	1. 1	1. 1	1. 1	1. 1	1. 1	1. 1	1. 1	1. 1	1. 1	1. 2
Ta	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Eu	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Sc	27. 5	30. 5	26. 5	25. 1	29. 3	27. 6	29. 1	27. 0	26. 5	31. 2	32. 3	26. 6
Cu	123. 4	83. 1	112. 5	54. 9	47. 6	134. 8*	120. 8	125. 8	97. 1	141. 1*	124. 9	148. 7*
Co	37. 7	41. 1	35. 0	30. 4	38. 0	38. 9	42. 2	33. 9	37. 0	38. 0	39. 7	43. 9
Zn	86. 1	117. 6	97. 9	247. 5*	80. 0	99. 1	88. 1	104. 0	94. 5	97. 9	83. 5	114. 8
Cs	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ga	19. 9	19. 8	21. 9	23. 0	20. 8	21. 1	19. 2	21. 6	21. 9	20. 7	18. 3	19. 9
Mo	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5

*** : بیش‌تر از بالاترین حد قابل اندازه گیری**

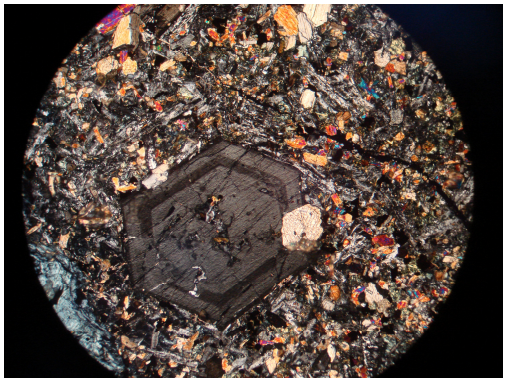
جدول ۲. نتایج تجزیهٔ ایزوتوپی Nd و Sr بازالت‌های جواهردشت

Sample	$^{87}Sr/^{86}Sr$	2-sigma	$^{143}Nd/^{144}Nd$	2-sigma
J-B-2	0. 704482	0. 000010	0. 512660	0. 000009
J-B-3	0. 704648	0. 000010	0. 512692	0. 000009
J-B-4	0. 704225	0. 000010	0. 512727	0. 000008
J-B-8	0. 705387	0. 000011	0. 512517	0. 000008
J-B-25	0. 704856	0. 000012	0. 512688	0. 000008
NBS987	0. 710254	0. 000011		
La Jolla			0. 511848	0. 000006

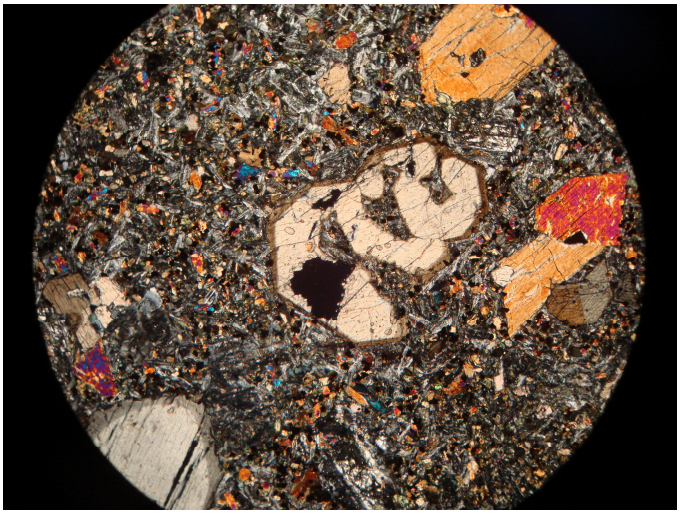
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل۳. نمایی از حاشیهٔ قهوه‌ای متمایل به بنفش در بلور تیتان اوژیت



شکل۲. نمایی از ساختار منطقه‌ای متحدالمرکزدر بلور خودشکل تیتان اوژیت



شکل ۴. نمایی از خوردگی خلیجی در بلور تیتان اوژیت

شواهد آلایش پوسته‌ای از طریق بررسی الگوی دیاگرام‌های چندعنصری عناصر ناسازگار

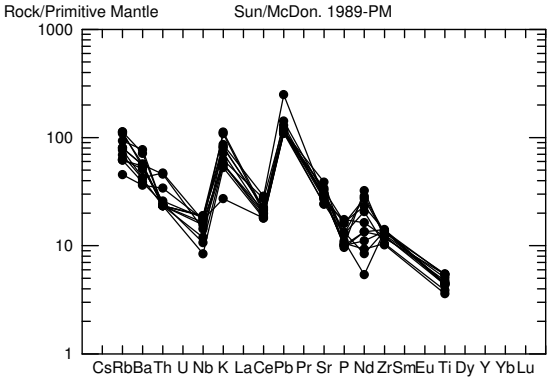
از نمودارهای چندعنصری عناصرناسازگار به‌منظور درک رژیم‌های تکتونیکی و تحولات ماگمایی در بازالت‌ها به طور گسترده استفاده می‌شود [۱]،[۴]،[۵].

در شکل ۵ و ۶ الگوی فراوانی عناصر ناسازگار بازالت‌های جواهردشت که نسبت به کندریت [۴] و گوشتهٔ اولیه [۶] به‌هنجار شده‌اند، نشان داده شده است. غنی‌شدگی از عناصر LIL یعنی Ba، Rb، K، Pb و تهی‌شدگی واضحی در Nb، Ti، Ce و P در نمودارها دیده می‌شود. در بدو امر تهی‌شدگی عناصر ناسازگار با محتوی اندک نسبت به عناصر مجاور خود و با آنومالی منفی نسبت به مرجع گوشته‌ای یا کندریتی، حاصل حفظ آن عناصر در فازهای باقی مانده درناحیهٔ منشأ وغنی‌شدگی وآنومالی‌های مثبت نتیجهٔ ذوب‌بخشی و رها شدن از فازهایی از گوشته با محتوی زیاد این عناصر و رفتار ناسازگار آن‌ها تفسیر می‌شود. این موضوع به ضریب

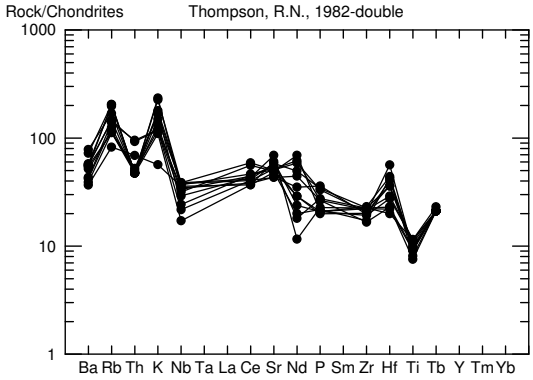
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

توزیع عناصر نسبت به فازهای گوشته بستگی دارد [۲].

همچنین آلایش پوسته‌ای و هضم می‌تواند آنومالی‌های مثبت یا منفی نسبت به مراجع به‌هنجارشده ایجاد کند که این موضوع در رابطه با سنگ‌های بازالتی منطقه جواهر دشت مشاهده می‌شود [۱]،[۷]. به عقیده رولینسون [۸] آنومالی منفی Nb شاخص سنگ‌های قاره است و نشان‌دهندهٔ شرکت پوسته در فرآیندهای ماگمایی است. فقر Nb در پوستهٔ قاره‌ای ممکن است به دو دلیل باشد: اول آن‌که Nb مانند Ti معمولاً در کانی‌های تیتان دارو آمفیبول در پوستهٔ فرورانده شده باقی می‌ماند و مانع ورود آن به مذاب و فرآیندهای بعدی پوسته‌سازی می‌شود[۹] و دوم آن‌که Nb فقط به کمک مذاب‌های سیلیکاته حمل می‌شود؛ نه به وسیلهٔ محلول‌های فرورانشی [۱۰]، این موضوع حتی پیک منفی در آندزیت‌ها را توضیح می‌دهد [۲]. هر چند آنومالی‌های منفی Nb و Ti خاص مناطق فرورانش [۱۱]،[۱۲] و آنومالی‌های مثبت آن‌ها خاص مناطق کششی و ریفتی [۱]،[۱۳] است، اما دربازالت‌های تحولی مناطق ریفتی [۱] و بازالت‌های طغیانی قاره‌ای[۱۴] نیز آنومالی منفی Ti و Nb دیده می‌شود.



شکل ۶. الگوی فراوانی عناصرناسازگار بازالت‌های جواهردشت به‌هنجار شده با گوشته اولیه [۶]



شکل۵. الگوی فراوانی عناصرناسازگار بازالت‌های جواهردشت به‌هنجار شده با کندریت [۴]

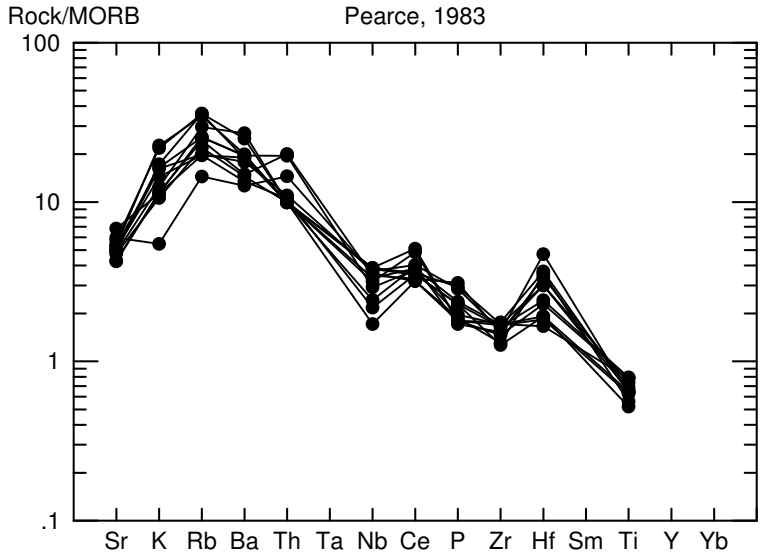
به عقیدهٔ کاکس و هاکس ورث [۷] آنومالی منفی Nb در بسیاری از بازالت‌های طغیانی قاره‌ای و ریفتی به دو دلیل ممکن است ایجاد شود؛ اول: آلایش پوسته و دوم: وجود یک فازباقی مانده از Nb در محل منشأ.

از سوی دیگر، آنومالی منفی Ti شاخصهٔ تیپیک سنگ‌های پوسته‌ای و نشان‌دهندهٔ دخالت پوسته در تحولات ماگمایی است [۱۵]. به عقیدهٔ ویلسون [۱] باید میزان TiO_2 را معیاری کاملاً حساس به آلودگی در نظر گرفت. فقر Ti در بسیاری از بازالت‌های قاره‌ای به درجات بالا ذوب بخشی وآلایش پوسته‌ای نسبت داده شده است [۱]، [۶].

در شکل ۷ الگوی فراوانی عناصر ناسازگار بازالت‌های جواهردشت که نسبت به مقادیر مورب [۵] به‌هنجار شده‌اند نشان داده شده است. چنان‌که ملاحظه می‌شود، بازالت‌های جواهردشت از تمامی طیف عناصر ناسازگار

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

به‌غیر از Ti نسبت به MORB غنی شده‌اند. فقر Ti در مقایسه با بازالت‌های N-MORB قابل توجه است. خود بازالت‌های N-MORB در نتیجهٔ درجات بالای ذوب بخشی از منابع تهی شده به وجود آمده و مقادیر Ti درآن‌ها اندک و به‌طور میانگین ۷۶۰۰ppm [۶]است. درحالی که مقادیرمیانگین Ti در بازالت‌های جواهردشت در حدود ۶۰۰۰ppm است. این موضوع به دلیل آلایش ماگمای بازالتی با مواد پوسته‌ای بوده است؛ یعنی ماگمای مادر اولیه این بازالت‌ها حاوی مقادیر بسیار زیادتری از TiO_2 بوده است. حضور درشت بلورهای تیتان اوژیت با حاشیهٔ بنفش بیان‌گرغنی بودن ماگمای اولیه (قبل از آلایش) ازTiO_2 بوده و تبلور آن‌ها مربوط به قبل از آلایش پوسته‌ای است. خوردگی خلیجی و حاشیهٔ مضرس و عدم وجود کلینوپیروکسن‌های غنی از Ti درخمیرهٔ سنگ دلالت برآلایش پوسته‌ای و عدم تعادل مذاب باقیمانده با فنوکریست‌های از قبل متبلور شده دارد که در بررسی‌های پتروگرافی نیز به آن اشاره شد.



شکل۷. الگوی فراوانی عناصر ناسازگار بازالت‌های جواهردشت به‌هنجار شده با مقادیر مورب [۵]

محتوای P_2O_5 در بازالت‌های جواهردشت اندک و به طور میانگین ۰/۲۷% است. یک آنومالی منفی P در تمامی نمودارهای چندعنصری نسبت به مراجعهٔ گوشته‌ای و کندریتی به چشم می‌خورد. این مقادیر اندک TiO_2 و P_2O_5 قابل مقایسه با بازالت‌های طغیانی قاره‌ای (CFB) نوع LPT بوده است؛ یعنی همان بازالت‌هایی که بر اثر آلایش با مواد پوسته‌ای حاوی محتوی P_2O_5 بین ۰/۳ % تا ۰/۱۵% و TiO_2 بین ۱/۷% تا ۰/۷% هستند [۱۶]،[۱۷]. ازسوی دیگر، عناصر (LIL) در پوسته قاره‌ای متمرکزند و غلظت زیاد آن‌ها در سنگ‌های منطقه ممکن است نشان‌دهندهٔ آلایش پوسته‌ای ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌های منطقه باشد [۸].

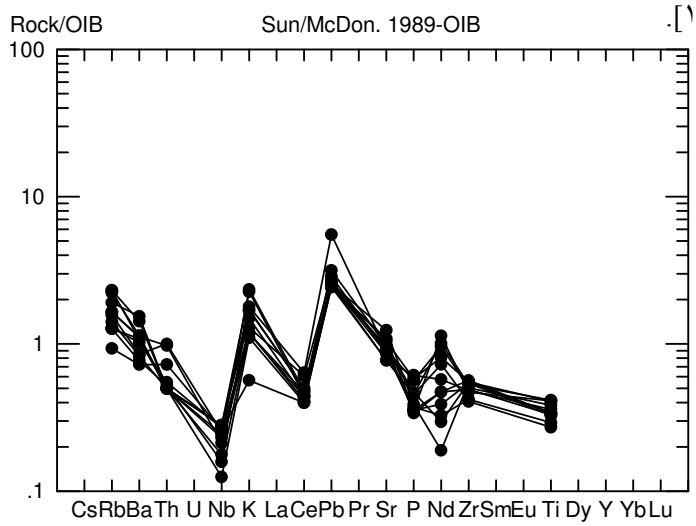
به عقیدهٔ واتسون [۱۸]هنگام آغشتگی بازالت با پوستهٔ قاره‌ای حتی در صورتی که بقیهٔ عناصر بدون تغییر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

باقی بمانند، مقدار چشمگیری پتاسیم به درون ماگمای بازالتی راه می‌یابد. این موضوع سبب ایجاد آنومالی مثبت در بازالت‌ها می‌شود. آنومالی مثبت Pb نیز می‌تواند ناشی از آلایش با مواد پوسته‌ای به دلیل تمرکز این عنصر در پوسته قاره‌ای اتفاق افتاده باشد؛ زیرا این عنصر برخلاف Nb به‌وسیلهٔ انتقال از محلول‌های فرورانشی سیستم‌های فرورانشی و فرآیندهای پوسته‌ساز و نیز مذاب‌های تولیدی به‌تدریج در پوسته غنی می‌شود[۲].

شکل ۸ الگوی فراوانی عناصر ناسازگار بازالت‌های جواهردشت که با مقادیر OIB (بازالت‌های جزایر اقیانوسی) [۶] به‌هنجار شده‌اند، نشان داده شده است. این بازالت‌ها به وضوح الگوی پرفراز و نشیبی را نشان می‌دهند که مشخصهٔ بسیاری از بازالت‌های طغیانی قاره‌ای و بازالت‌های تحولی ریفتی درون قاره‌ای بوده و ظاهراً این موضوع پیامد آلودگی این بازالت‌ها با پوستهٔ قاره‌ای است[۱].

آلودگی پوسته‌ای بازالت‌های جواهر دشت باعث تغییر ترکیب شیمیایی اولیهٔ این بازالت‌ها شده است. فقر Nb، Zr، Ti وغنی شدگی ازK، Ba، Rb، Pb باعث شده است که این بازالت‌ها خصوصیات مناطق فرورانشی را به طور کاذب نشان دهند. این موضوع در بسیاری ازبازالت‌ها درون صفحه‌ای قاره‌ای که با پوسته آلوده شده‌اند مشاهده می‌گردد[۱].



شکل ۸. الگوی فراوانی عناصر ناسازگار بازالت‌های جواهردشت به‌هنجار شده با مقادیر OIB [۶]

اثبات آلایش پوسته‌ای از طریق مقایسهٔ میانگین الگوی عناصر ناسازگاربازالت‌های جواهردشت با مقادیر پوسته‌ای؛ مدارکی دراثبات نوع آلایش

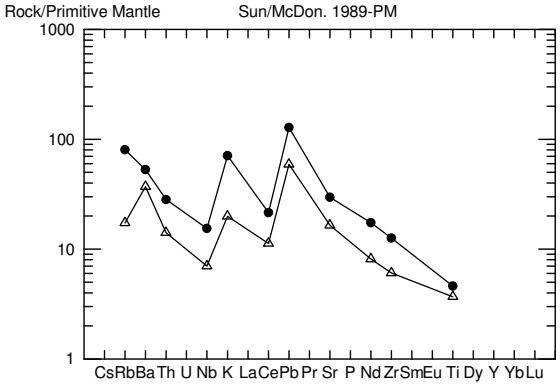
تعیین این موضوع که بازالت‌های جواهردشت با کدام پوسته آلایش یافته‌اند در تفسیر توزیع ژئوشیمیایی عناصر در این سنگ‌ها اهمیت بسیار دارد.

دراین مبحث میانگین ترکیب شیمیایی بازالت‌های جواهردشت به‌منظور اثبات و نوع آلایش، با مقادیرپوستهٔ زیرین و میانی[۱۵] و پوسته فوقانی[۱۹] مقایسه شده‌اند:

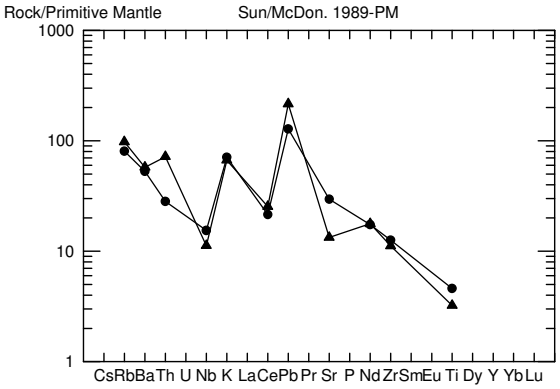
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

شکل ۹ مقایسه‌ای بین الگوی میانگین عناصرناسازگاربازالت‌های جواهر دشت با مقادیر پوستهٔ زیرین که نسبت به گوشتهٔ اولیه [۶] به‌هنجار شده‌اند، نشان داده شده است. انطباق چشم‌گیر روند الگوی تمامی عناصر به‌غیر از Rb بین پوستهٔ زیرین با رخسارهٔ گرانولیتی و سنگ‌های منطقه مشاهده می‌شود. این موضوع برآلایش گسترده بازالت‌های منطقه با سنگ‌های پوستهٔ زیرین دلالت دارد.

شکل۱۰ مقایسهٔ الگوی میانگین عناصر ناسازگاربازالت‌های جواهردشت با مقادیر پوستهٔ میانی [۱۵] که نسبت به گوشتهٔ اولیه [۶] به‌هنجارشده‌اند، نشان داده شده است. بازهم‌آهنگی جالب توجهی بین عناصر پوستهٔ میانی با رخساره آمفیبولیتی و سنگ‌های منطقه مشاهده می‌شود. مقدار Rb به مقدار پوسته میانی نزدیک است، اما محتوی Th کم‌تر و آنومالی منفی دارد. محتوی بیش‌تر Sr نسبت به پوستهٔ میانی به دلیل محتوی زیاد Sr در پوستهٔ زیرین (۳۴۸ppm) نسبت به پوستهٔ میانی (۲۸ppm) و هضم آن به همراه هضم پوستهٔ میانی اتفاق افتاده است.

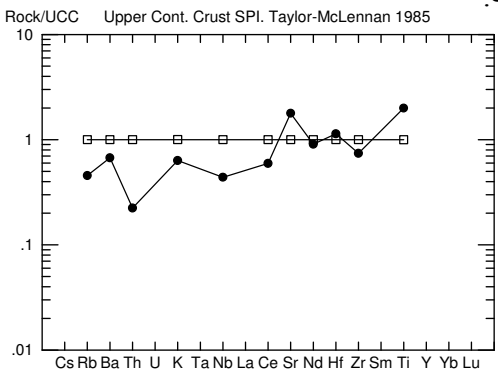


شکل۹. مقایسهٔ الگوی میانگین عناصر ناسازگار بازالت‌های جواهردشت با مقادیر پوستهٔ زیرین [۱۵]
△ پوستهٔ زیرین ● بازالت‌های جواهر دشت



شکل۱۰. مقایسهٔ الگوی میانگین عناصرناسازگار بازالت‌های جواهردشت با مقادیر پوستهٔ میانی [۱۵]
▲ پوستهٔ میانی ● بازالت‌های جواهر دشت

شکل۱۱ مقایسه الگوی میانگین نمونه‌های منطقه که با مقادیر پوستهٔ فوقانی [۱۹] به‌هنجار شده‌اند، نشان داده شده است. اختلاف با روند پوسته فوقانی کاملاً مشخص است.



شکل۱۱. مقایسهٔ الگوی میانگین عناصر ناسازگار بازالت‌های جواهردشت با مقادیر پوستهٔ فوقانی[۱۹]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

خلاصه روندهای مشابه و نشیب و فرازهای یکسان عناصرناسازگاربازالت‌های منطقه جواهردشت با مقادیر پوسته‌ای، برهم کنشی ماگمای بازالتی منطقه را با پوستهٔ قاره‌ای مدلل می‌سازد. الگوی دیاگرام‌های عناصر ناسازگار بازالت‌های جواهردشت و مقایسهٔ آن با مقادیر پوسته‌ای نشان می‌دهد که نمونه‌ها نسبت به پوستهٔ زیرین و میانی دارای تعادل عنصری شاخص‌تری بوده و در نتیجه با آن‌ها آلایش یافته‌اند. به‌ویژه که پوستهٔ میانی با رخسارهٔ آمفیبولیتی به‌دلیل طبیعت زودگدازتر از پوستهٔ زیرین از مساعدترین مکان‌ها برای آلودگی ماگماها به‌شمار می‌رود. تهی‌شدگی در Th و اختلاف روندهای عنصری نسبت مقادیر پوستهٔ بالایی این نکته را نشان می‌دهد که آلودگی گسترده با سنگ‌های پوستهٔ فوقانی صورت نگرفته است. با توجه به این‌که پوستهٔ میانی منطقه‌ای بین۱۰-۱۵کیلومتری تا پوستهٔ زیرین را شامل می‌شود [۱۵] به همین سبب، آلودگی پوسته‌ای این بازالت‌ها دراعماق پایین ۱۰-۱۵ کیلومتری روی داده است.

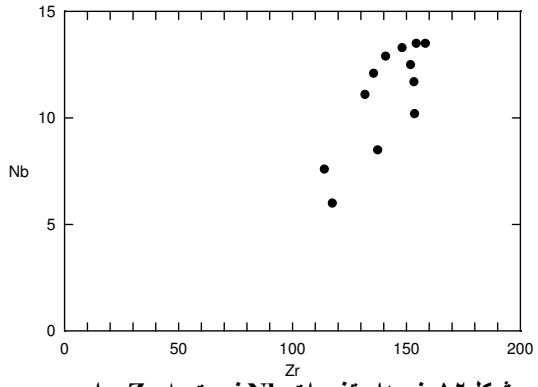
بررسی نسبت‌های عناصر کم‌یاب ناسازگار به‌عنوان معرف‌های ژئوشیمیایی آلایش پوسته‌ای

از نسبت‌های عناصر کم‌یاب ناسازگار در سیستم‌های بازالتی برای تمییزمنابع گوشته‌ای و پوسته‌ای استفاده می‌شود [۲۰]. نسبت‌های عناصر(HFS) بسیار شاخصند؛ زیرا نسبت دوعنصر ناسازگار مشابه، بر اثر ذوب‌بخشی یک منبع گوشته‌ای ثابت می‌ماند و این نسبت در نتیجه درجهٔ ذوب‌بخشی یک منبع نیز ثابت مانده و تغییر نمی‌کند. از سوی دیگر، در اثر تفریق، محتوی عناصر ناسازگار تغییر می‌کند، اما نسبت بین دوعنصر ناسازگار مشابه، درحین تفریق تغییری نمی‌کند [۲]. این موضوع تا زمانی صادق است که نمونه‌ها بدون آلودگی پوسته‌ای قرار داشته باشند؛ زیرا آلودگی پوسته‌ای می‌تواند نسبت عناصر کم‌یاب ناسازگار را تغییر دهد [۱]، [۲].

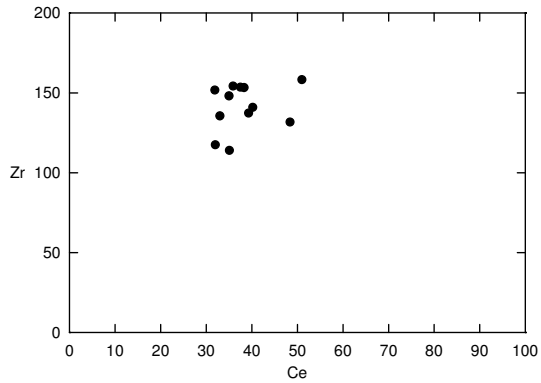
مشابه رفتار عناصر ناسازگارHFS عناصرLIL هم بسیار مهم هستند. این عناصر به‌ویژه K، Rb و Ba برای نمایش واکنش پوسته با ماگما مفید هستند؛ زیرا این عناصر در پوستهٔ قاره‌ای تمرکز یافته و در مذاب‌های پوسته‌ای آناتکتیک بیش‌ترین تمرکز را نشان می‌دهند[۸]،[۲۱].

در شکل۱۲ تغییرات Nb نسبت به Zr ودر شکل۱۳ تغییرات Zr نسبت به Ce نشان داده شده است. چنان که ملاحظه می‌شود نسبت عناصر ناسازگار Zr/Nb و Zr/Ce در نمونه‌ها ثابت نبوده و دامنهٔ وسیعی از نسبت را نشان می‌دهد. این موضوع به‌دلیل آلایش پوسته‌ای است؛ زیرا تبلور تفریقی باعث ثابت ماندن نسبت غلظت دوعنصر ناسازگار می‌شود، ولی آلودگی پوسته‌ای منجر به تغییر نسبت بین آن‌ها در یک‌سری سنگی می‌شود[۱].

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

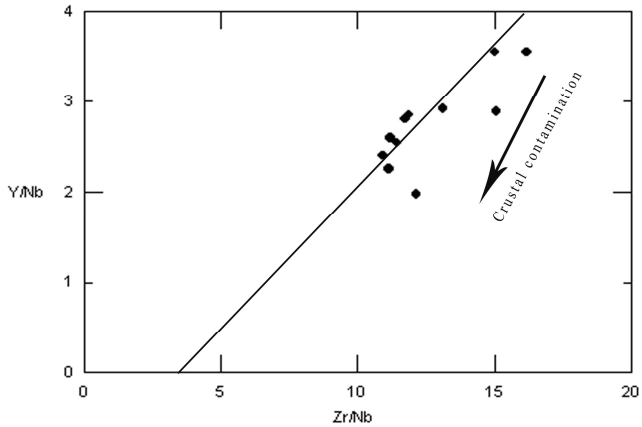


شکل۱۲. نمودار تغییرات Nb نسبت به Zr برای بازالت‌های جواهردشت



شکل۱۳. نمودار تغییرات Zr نسبت به Ce برای بازالت‌های جواهردشت

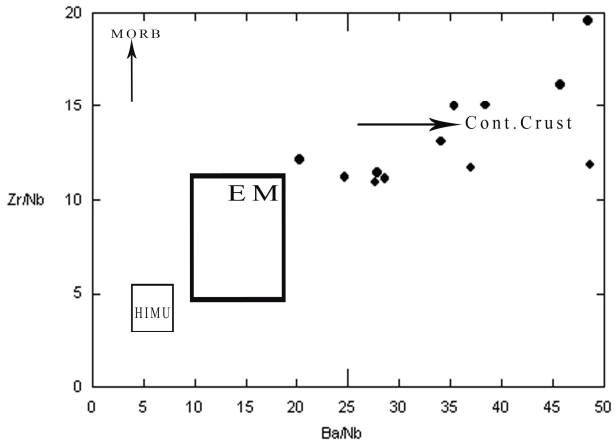
در شکل۱۴ تغییرات Y/Nb در برابر Zr/Nb برای بازالت‌های جواهردشت نشان داده شده است. روند آلودگی پوسته‌ای از ویلسون [۱] اقتباس شده است. این روند دقیقاً مشابه روند بازالت‌های تحولی دشت آتشفشانی تائوس در ریفت ریوگراند است که آلایش پوسته‌ای را نشان می‌دهند[۲۲]. با افزایش آلایش پوسته‌ای هردو نسبت Zr/Nb و Y/Nb کاهش می‌یابد[۱].



شکل۱۴. نمودار تغییرات Y/Nb در برابر Zr/Nb برای بازالت‌های جواهردشت روند آلودگی پوسته‌ای از ویلسون [۱]اقتباس شده است

نسبت Ba/Nb دربازالت‌های جواهردشت بالا و بین ۲۰ تا ۴۹ متغییر است. به عقیده رودنیک و گلداشتاین [۲۳] مقادیر فراوان Ba/Nb معمولاً در ماگماهای غنی شده گوشتهٔ لیتوسفر قاره‌ای و همچنین در سنگ‌ها پوسته زیرین دیده می‌شود. در شکل۱۵ تغییرات Zr/Nb در برابر Ba/Nb برای بازالت‌های جواهردشت نشان داده شده است. روند پوستهٔ قاره‌ای و مقادیر گوشتهٔ EM (گوشته غنی شده) و HIMU و روند MORB از ویور [۲۰] اقتباس شده است. چنان که ملاحظه می‌شود نمونه‌ها به خوبی روند پوستهٔ قاره‌ای را تعقیب می‌کنند. این موضوع نقش پوسته را در تحولات بازالت‌های جواهردشت نشان می‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

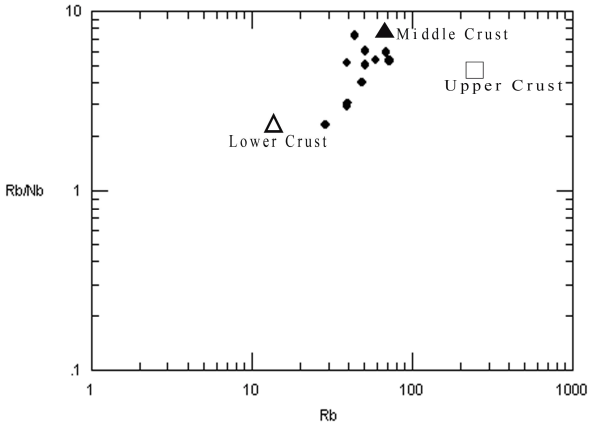


شکل۱۵. نمودار تغییرات Zr/Nb در برابر Ba/Nb برابر بازالت‌های جواهردشت. روند پوستهٔ قاره‌ای و مقادیر گوشتهٔ EM و HIMU و روند MORB از ویور [۲۰] اقتباس شده است

Ce و Pb به‌عنوان عناصر ناسازگار همسایه، به این معنا، به‌عنوان عناصری با رفتار ناسازگار نزدیک که دارای رفتارهای زمین‌شناسی مشابهی هستند، در نظرگرفته می‌شوند [۲]. نسبت Ce/Pb در MORB و OIB یعنی دربازالت‌های اقیانوسی نسبتاً بالا و تقریباً یکنواخت است و مقدار آن حدوداً ۵±۲۵ است[۲۴]. در حالی‌که این نسبت دربازالت‌های جواهردشت در حدود ۴/۲ بوده که این محتوی اندک Ce/Pb نشانهٔ درگیر بودن ماگما با مواد پوسته‌ای است [۲۹].

شاخصه مهم برای هضم و آلایش پوسته‌ای نسبت زیاد Pb/Nd است [۲۵]. این نسبت دربازالت‌های جواهردشت به طورمیانگین ۰/۳۸ است در حالی‌که در مورب نوع N حدوداً ۰/۰۴و در مورب P حدود ۰/۰۶ و در OIB حدود ۰/۰۸ است [۶]. این نسبت در پوستهٔ زیرین ۰/۳۸در پوستهٔ میانی حدود ۰/۳۶ و در پوستهٔ فوقانی ۰/۷۳است. این موضوع آغشتگی سنگ‌ها با پوستهٔ زیرین و میانی را به خوبی نشان می‌دهد.

در شکل ۱۶ در نمودار لگاریتمی Rb/Nb در برابر Rb از پیرس و همکاران [۲۶] که درجهٔ واکنش پوسته در برابر ماگمای گوشته‌ای را نشان می‌دهد، نمونه‌ها روندی از پوستهٔ زیرین به طرف پوستهٔ میانی را نشان داده و در محدودهٔ پوسته میانی تمرکز نشان می‌دهند.

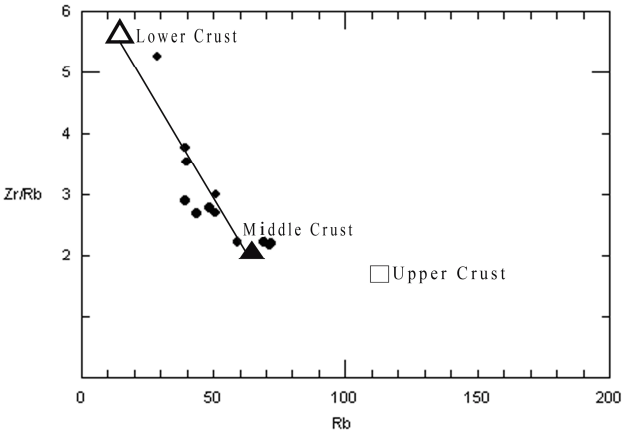


شکل۱۶. نمودار لگاریتمی تغییرات Rb/Nb در برابر Rb از پیرس و همکاران [۲۶]. مقادیر میانگین پوستهٔ زیرین و میانی از رودنیک و فونتین [۱۵] و پوستهٔ بالایی از تیلور و مک للان[۱۹]اقتباس شده است

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

در شکل ۱۷ در نمودارZr/Rb در برابر Rb ازآسکرن و همکاران [۲۷] که به‌منظور تعیین فرآیند AFC (تفریق و هضم) با پوستهٔ ترسیم شده، نمونه‌ها به وضوح روندی از پوستهٔ زیرین به طرف پوستهٔ میانی همگام با افزایش Rb نشان می‌دهند.

خلاصه آن‌که بررسی نسبت‌های عناصر کم‌یاب ناسازگار نشان می‌دهد که بازالت‌های جواهردشت با سنگ‌های پوستهٔ زیرین و میانی آلایش یافته‌اند.



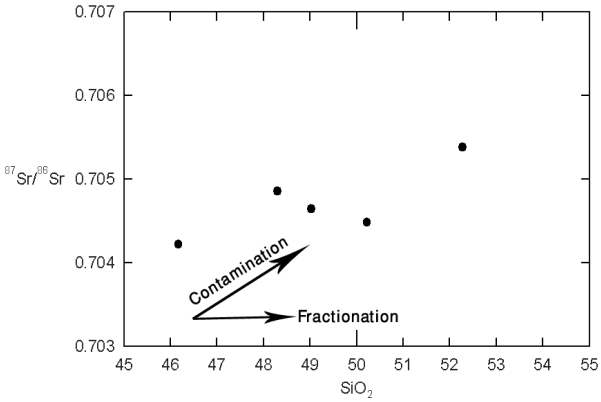
شکل۱۷. نمودار نیمه لگاریتمی تغییرات Zr/Rb در برابر Rb از آسکرن و همکاران [۲۷]. مقادیر میانگین پوستهٔ زیرین و میانی از رودنیک و فونتین [۱۵]و پوستهٔ بالایی از تیلور و مک للان [۱۹]اقتباس شده است

شواهد ایزوتوپی آلایش پوسته‌ای

با بررسی علائم ایزوتوپی و ژئوشیمیایی، پذیرش اجزای غنی شده مثل پوستهٔ قاره‌ای با ماگمای بازالتی شناسایی می‌شود. پژوهش‌های ایزوتوپی Nd-Sr بالقوه ردیاب قوی برای آلایش ماگماها به‌وسیلهٔ پوستهٔ قاره‌ای فراهم می‌آورد [۱].

در نمودار تغییرات $^{87}Sr/^{86}Sr$ در برابر SiO_2 (شکل ۱۸) روندهای تفریق و آلایش مشخص شده‌اند. به وضوح بازالت‌های جواهردشت روند آلایش پوسته‌ای را تعقیب می‌کنند؛ به نحوی که نمونهٔ J-B-8 با بالاترین درصد SiO_2 = %۵۲/۲۸ دارای بالاترین نسبت$^{87}Sr/^{86}Sr$=۰/۷۰۵۳۸۷ بوده و نمونه J-B-4 با کم‌ترین درصد SiO_2=%۴۵/۱۷ دارای کم‌ترین میزان $^{87}Sr/^{87}Sr$= ۰/۷۰۴۲۰۵ است. اگر فقط فرآیند تفریق باعث تحول سنگ‌شناسی نمونه‌ها باشد، باید با افزایش ضریب تفریق، نسبت $^{87}Sr/^{87}Sr$ ثابت بماند. همبستگی مثبت SiO_2 با نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ انعکاس از فرآیند آلایش پوسته‌ای است [۲۱].

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل۱۸. نمودار تغییرات $^{87}Sr/^{86}Sr$ در برابر SiO_2 برای بازالت‌های جواهردشت. روند تفریق و آلایش از ویلسون و کایزر [۱،۲۱]اقتباس شده است

یک راه نشان دادن نسبت‌های ایزوتوپی، نماداپسیلون(ε)است که مقدارآن اندازهٔ انحراف یک نمونه یا مجموعه‌ای از نمونه‌ها، از مقدار مورد انتظار دریک منبع یک‌نواخت اولیه است[۲۸]. مقادیر محاسبه شده پارامترهای εSr و εNd به روش دپائولو و واسربرگ [۲۸] در جدول۳ نشان داده شده است. مقادیر εNd منفی نشانه یک ناحیهٔ گوشته‌ای غنی شده و یا یک منشأ پوسته‌ای است و مقادیر مثبت آن نشان‌گر گوشتهٔ تهی شده است [۸]. ویژگی سنگ‌های پوسته زیاد بودن نسبت εSr و کم بودن εNd نسبت به مقادیر تعیین شده جهت کل زمین است[۱].

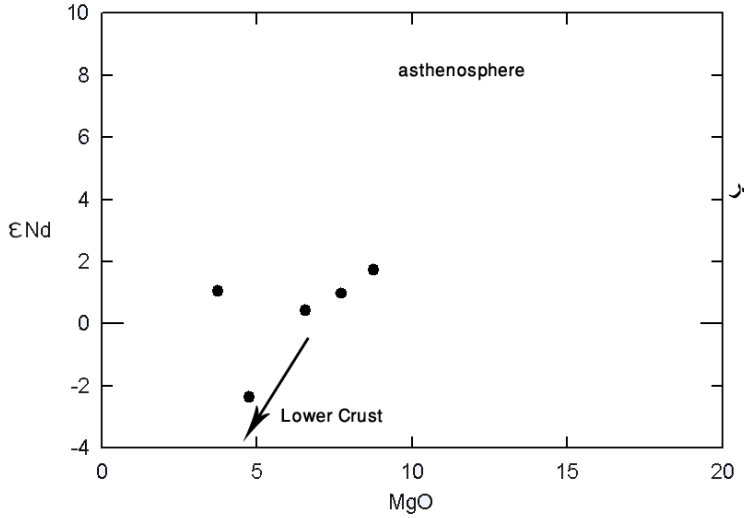
جدول۳. مقادیر محاسبه شده پارامترهای εSr و εNd برای بازالت‌های جواهردشت به روش دپائولو و واسربرگ [۲۸]

Sample	εNd	εSr
J-B-2	0/429	-0/256
J-B-3	1/053	2/1
J-B-4	1/736	-3/9
J-B-8	-2/361	12/59
J-B-25	0/975	5/05

در شکل ۱۹ تغییرات εNd در برابر MgO برای بازالت‌های جواهردشت نشان داده شده است (اقتباس از یونگ [۲]). نمونه‌ها به خوبی روند پوستهٔ تحتانی را نشان می‌دهد. هم‌بستگی مثبت εNd با MgO انعکاسی از آلایش پوسته‌ای است [۲۹].

از شاخصه K_2O/P_2O_5 برای آلایش پوسته‌ای ماگمای بازالتی استفاده می‌شود[۳۰]،[۳۱]. بازهٔ نرمال برای ماگماهای غیرآلایش یافته با پوستهٔ قاره‌ای بین ۰-۷ است[۳۲]. البته اغلب ماگماهای بازالتی نشأت گرفته از گوشته دارای نسبت$K_2O/P_2O_5 \leq ۲$ هستند. هضم پوسته و یا تفریق آپاتیت سبب افزایش نسبت مزبور شده و این موضوع در بازالت‌های رودخانه کلمبیا مشاهده شده است [۳۰].

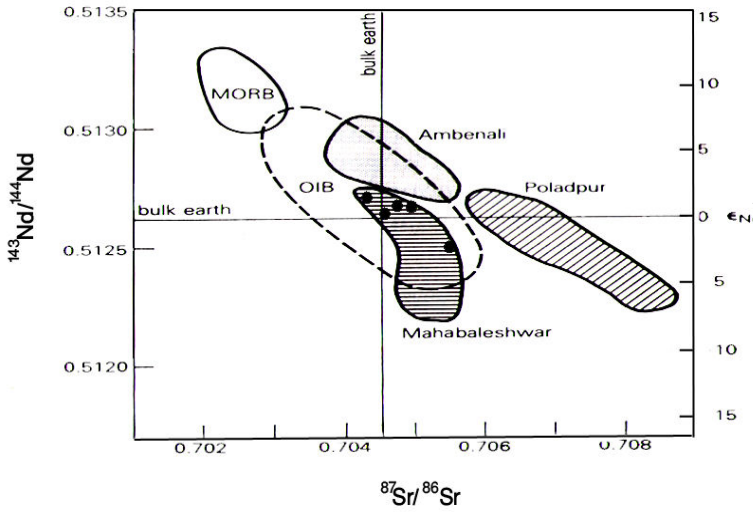
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل۱۹. نمودار تغییرات εNd در برابر MgO برای بازالت‌های جواهردشت. مقادیر استنوسفر و روند پوستهٔ تحتانی از یونگ [۲] اقتباس شده است

نسبت K_2O/P_2O_5 دربازالت‌های جواهردشت بین ۷ تا ۱۱/۷۷ متغییر است. آن‌هایی را که دارای بیش‌ترین نسبت K_2O/P_2O_5 هستند، دارای بیش‌ترین نسبت $^{87}Sr/^{87}Sr$ است (به‌عنوان مثال نمونهٔ JB8) در حالی‌که نمونه‌ای که دارای کم‌ترین نسبت $^{87}Sr/^{87}Sr$ است دارای کم‌ترین نسبت K_2O/P_2O_5 است (نمونهٔ JB4) که این موضوع دلالت برآلایش پوسته‌ای دارد [۳۰].

در شکل۲۰ داده‌های ایزوتوپی Nd-Sr بازالت‌های طغیانی قاره‌ای و تولئیتی تراپ دکن در منطقهٔ مهابالشوار به منظور مقایسه با بازالت‌های جواهردشت نشان داده شده است. بازالت‌های جواهردشت روندی خطی مشابه بازالت‌های تراپ دکن در منطقهٔ مهابالشوار نشان می‌دهند. بازالت‌های مهابالشوار روندی را نشان می‌دهند که بازتاب آلودگی با پوستهٔ زیرین است[۱]. روند منفی قرارگیری ایزوتوپ‌های Nd-Sr، معمولاً به هضم رخساره گرانولیتی پوستهٔ زیرین استناد می‌شود [۳۳].



شکل۲۰- موقعیت بازالت‌های جواهردشت در نمودار هم‌بستگی ایزوتوپی Nd-Sr به‌منظور مقایسه با بازالت‌های طغیانی قاره‌ای منطقهٔ مهابالشوار واقع در تراپ دکن [۱]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

نتیجه‌گیری

بررسی‌های پتروگرافیک و علائم ژئوشیمیایی و ایزوتوپی بازالت‌های جواهردشت نشان می‌دهد که این بازالت‌ها با پوستهٔ قاره‌ای آلایش پیدا کرده‌اند. بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که بازالت‌های جواهردشت دارای تعادل عنصری بسیار شاخصی با پوستهٔ زیرین و میانی بوده و با آن‌ها آلایش یافته‌اند.

براثر برهمکنش ماگماهای اولیه نشأت گرفته از گوشته با مواد پوسته‌ای در طی صعود ترکیب اولیه ماگمای این سنگ‌ها از نظر ژئوشیمیایی تعدیل و تغییر یافته است؛ به نحوی که بر اثر همین تغییرات مثلاً سیمای مناطق فرورانشی را به طور کاذب نشان می‌دهند.

با توجه به تغییرات نسبت‌های ژئوشیمیایی ایجاد شده بر اثر آلایش در ماگمای اولیه والدبازالت‌های جواهردشت، باید در استفاده از عناصر ناسازگار و نسبت‌های آن‌ها و نسبت‌های ایزوتوپی برای تشخیص ماهیت پروتولیت این سنگ‌ها کاملاً احتیاط را رعایت کرد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش حاصل طرح تحقیقاتی با عنوان « پتروگرافی و ژئوشیمی بازالت‌های جواهردشت» بوده است که با حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان انجام شده است. بدین وسیله از همکاری آن معاونت قدردانی می‌شود. همچنین از راهنمایی‌های ارزشمند جناب دکتر منصور وثوقی عابدینی برای توصیه‌های علمی ایشان و جناب دکتر Brian L. Cousens از دانشگاه کارلتون کانادا برای همکاری و انجام آزمایش‌ها ایزوتوپی تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. M. Wilson, Igneous petrogenesis-A global tectonic approach,Unwin Hyman London (1989) 466.
2. C. Jung, Geochemische und Isotopen–geochemishe untersuchungen an tertiaeren vulkaniten der Hocheifel-ein beitrag zur identifizierung der mantelquellen von Rift-bezogenen vulkaniten, Dissertation zur Erlangung des doktorgrades Naturwissenschaften dem, vorgelegt fachbreich Geowissenschaften der Philipps-Universitaet Marburg (2003).
۳. بهارفیروزی، خ. و شافعی، ع. ر. ، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰جواهرده، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۲).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

4. R.N. Thompson, Magmatism of the British Tertiary Volcanic province,Scott. J. Geol. 18 (1982) 49-107.
5. J.A. Pearce, Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins, In: Hawkesworth,C.I. and M.J. Norry (eds) continental Basalts and mantle xenoliths,Shiva Nantwich (1983) 230-249.
6. S.S. Sun and W.F. McDonough, Magmatism in the oceanic Basalts, [A.D. saunders and M. J. Norry, Herausgeber], Geol. Soc. Special. Pub 42 (1989) 313-345.
7. K.G. Cox and C.J. Hawkesworth, Geochemical stratigraphy of the Decan Traps, at Mahabaleshwar, Westerrn Ghats, India,with implication for open system magmtic processes,J. Petrol, 26(1985) 355-377.
8. H.R. Rollinson, Using Geochemical Data: Evolution,Presentation, Interpretation, Longman Scientific and Technical,England (1993) 352.
9. A.M. Hofmann,Mantle geochemistry: The message from oceanic volcanism,Nature,385 (1997) 219-229.
10. J.A. Pearce and D.W. Peat, Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. -Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 23 (1995) 251-285.
11. P. Ulmer, partial melting in the mantle wedge-the role of H_2O in the genesis of mantle-derived"arc-related"magmas. Physics of the Earth and Planetary Interiors,127(2001)215-232.
12. J.A. pearce, Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries, in: Thrope, R.S. (ed) Andsites,Wiley, Chichester (1982) 528-548.
13. M. Ballever,E. LeGoff and R. Hebet,The tectothermal evolution of the Caledonian belt of Northern Brittany, France:A Neoproterozoic volcanic arc. Tectonophysics. 331(2001)19-43.
14. R.N. Thompson, M.P. Morrison, A.P. Dickin and G.L. Hendry,Continental flood basalts and mantle xenoliths in: C.J. Hawkesworth & M.J. Norry (eds), Nantwich Shiva (1983)158-185.
15. R.L. Rudnick and D.M. Fountain,Nature and composition of the continental crust : a lower crustal perspective, Rev. Geophys, 33 (1995) 267-309.
16. R.V. Fodor, Low and high-TiO_2 flood basalts of Southern Brazil: Origin from picritic parentage and a common mantle source. Earth Planet. Sci. Lett, 84(1987) 423-430.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

17. G. Bellieni, P. Brotzo, P. Comin-chiaramonti, M. Ernesto, A. Melfi, I.G. Pacca and E.M. Piccirillo, Flood basalt to rhyolite suites in southern Prana plateau (Brazil): paleomagnetism, petrogenesis and geodynamic implications, J. Petrol, 25 (1984) 579-618.
18. E.B. Watson,Basalt contamination by continental crust: some experiments and models, Contrib. Mineral. Petrol. 80 (1982) 73-87.
19. S.R. Taylor and S. M. McLennan, The continental crust: its composition and evolution, Blackwel Sci. Pub. Oxford (1985) 312.
20. B.L. Weaver, Trace element evidence for the origin of ocean-island basalts,Geology, 19 (1991)123-126.
21. C. Kaiser, Multi-component evolution,age and plate-tectonic setting of high-Mg Lamprophyric dikes and small gabbroic intrusions on Isla Margarita (venezuela) Ruhr universitaet Bochum (1997)174.
22. M.A. Dungan, M.M. Lindstrom, N.J. McMilian, S. Moorbath, J. Hoefs and L.A. Haskin, Open system magmatic evolution of the Taos plateau volcanic field, Northern of the New Mexico In: The petrology and geochemistry of the Sevilleta basalt,J, Geophys. Res 91(1986) 5999-6028.
23. R.L. Rudnick and S.L. Goldstein, The Pb isotopic composition of lower crust xenoliths and the evolution of lower crustal Pb. Earth Planet. Sci. Lett, 98 (1990)192-207.
24. A. W. Hofmann, K. P. Jochom, M. Seufert and W. M. White,Nb and Pb in oceanic basalts, new constraints on mantle evolution. Earth. Sci. Lett. 90(1986)297-314.
25. M.S. Krienitz, K.M. Haase,K. Mezger,V. Eckardt and M.A. Shaikh-Mashail,Magma genesis and crustal contamination of continental intraplate lavas in northwestern Syria. Contrib. Mineral. petrol. 151 (2006) 698-716.
26. J.A. Pearce, J.F. Bender, S.E. Delong, W.S.F. Kidd,P. J. Low, Y. Guner, F. Saroglee,Y. Yilmaz,Genesis of collisional volcanism in eastern Anatolia,Turkey,J. Volc. Geotherm. Res. 44 (1990)189-229.
27. D.R. Askren, M.F. Roden and J.A. Witmey, Petrogensis of tertiary Andesite lava flows interlayered with larg-volum felsic Ash-Flow Tuffs of western USA,J. Petrology,38(1997) 1021- 1046.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

28. D.J. DePaolo and G.J. Wasserberg,Nd isotopes in flood basalts from the siberian platform and interences abour their mantle sources. proceeding of National Academy of Science, USA, 76 (1979) 3056-3060.
29. S. Jung, The role of crustal contamination during the evolution of continental rift -related Basalts. A case study from the Vogelsberg area (central Germany), GEOLiNES (praha)9 (1999) 48-58.
30. R.W. Carlson and W.K. Hart, Flood basalt volcanism in the northwestern United States. in: continental basalts, J.D. McDougall (ed). kluwer Academic Pub. (1988)273-310.
31. S.R. Hart and H. Staudigel,Isotopic characterization and identification of recycled components. Crust-mantle recycling at convergence zones. S.R. Hart and L. Gulen (ed), kluwer Academic Pub. (1989) 15-28.
32. A. Rouff,Geochemical and mineralogical analysis of the Comerford intrusive complex, East Barnett, Northeastern vermont. Unpublished seniorthesis, Middlebury College, Middlebury (1998) 63.
33. S. Bernstein, P.B. kelemen, C. Tegner,M. D. Kurz, J. Blusztajn and C. Kent Brooks,Post-breakup basaltic magmatism along the East Greenland Tertiary rifted margin. Earth. planet. Sci. Letters. 160(1998)845-862

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]