

زمین شناسی اقتصادی گرانیته‌ها
تهیه کننده: نفیسه صالحی سیاوشانی

n_ss81@yahoo.com

سرفصل مطالب

- مقدمه
- عناصر گرانوفیل
- فرایندها
- انواع کانسارها
- مطالعه موردی

n_ss81@yahoo.com

▶ ارتباط تنگاتنگ بین گرانیت ها و انواعی از کانسارها

▶ Granite related ore systems

▶ تحقیقات گسترده در مقایسه با بقیه کانسارها (Sial et al., 2016)

▶ Candela (1997), Linnen (1998), Piccoli et al. (2000), Cline (2003), Ishihara & Chappell, (2004), Vigneresse (2007)

▶ منابع ماگمایی، مکانیسم‌های جایگیری، فرایندهای گوناگونی و توزیع عناصر، ضرایب جدایش کانی/مذاب، شرایط انحلال

▶ همراه با سنگ‌های گرانیتی با رنگ روشن از جمله پگماتیت‌ها، همراه با سنگهای نفوذی فلسیک (پرفیری)

انواع کانسارهای وابسته به گرانیت‌ها

n_ss81@yahoo.com

▶ کانسارهای پرآلومینه عناصر لیتوفیل (Sn-W-U)

▶ کانسارهای متالومینه عنصر کالکوفیل مس و مولیبدن

▶ کانسارهای پرآلکالینه فلزات نادر

- ▶ granite-related Sn-W-F (including a variety of skarn deposits)
- ▶ pegmatite-hosted Ta-Nb-Li-Be
- ▶ porphyry Mo and intrusion-related gold deposits

Ludington and Plumlee (2009) and Hart (2005)

فرایندهای نهشتگی

- ▶ شبیه سیستم کانه زایی پرفیری-اپی ترمال
- ▶ در ارتباط با:
- ▶ تحول سیالات ماگمایی-هیدروترمال
- ▶ کاهش فشار (جوشش ثانوی)
- ▶ اختلاط با سیالات مجاور
- ▶ سرد شدن
- ▶ واکنش آب-سنگ (در تشکیل اسکارن در سنگهای کربناته)

n_ss81@yahoo.com

Granite classification and metallogenetic potential

- ▶ وضعیت اکسیداسیون ماگما و درجه تفریق، طبیعت سیستم کانه زایی را تعیین می کند (لمان 1990).
- ▶ در ماگماهای احيایی، مس، طلا، سرب، روی، مولیبدن، کبالت و نیکل می توانند از مذاب به صورت سولفیدهای اولیه (پیروتیت) جدا شوند، در حالی که در ماگماهای اکسیدان تر، نسبت SO_2/H_2S بالا باعث تفکیک S در فاز مایع در مذاب آبدار می شود.

n_ss81@yahoo.com

میل ژئوشیمیایی عناصر همراه با گرانیته‌ها

▶ کالکوفیل: کانسارهای پرفیری، گرانیته با ترکیب متوسط، عمق کم

▶ گرانوفیل یا لیتوفیل: گرانیته لوکوکراتیک غنی از کوارتز، آلتراسیون کائولینیزه و سربسته، گرایزن

n_ss81@yahoo.com

▶ لیتوکالکوفیل: تمایل دوگانه مثل Cu

عناصر گرانوفیل

- ▶ اغلب در توده های نفوذی گرانیتی (غنی از کوارتز و موسکویت دار) و پگماتیتی
- ▶ ناسازگاری: اندازه و بار یونی: در آخرین مراحل تبلور: تمرکز در بالا یا سقف نفوذی ها
- ▶ جدایش با فاز سیال
- ▶ کانی سازی به صورت پراکنده یا پگماتیتی در توده نفوذی و یا به صورت رگه و استوکورک در بیرون توده

n_ss81@yahoo.com

عناصر گرانونفیل

دو کاتیون کوچک

B, Be

کاتیون‌های
اکتاهدرال یک-دو
ظرفیتی

Fe²⁺, Zr, Cu, Li

فوگاسیته اکسیژن
و گوگرد

کاتیون‌های بزرگ
شدیدا باردار شده

U
Ta, Mo, W, Sn, As, Sb

Zr, Hf, Ta, Nb, Mn³⁺

Fe³⁺, Y, REE, Bi, Th

کاتیون‌های قلیایی
و شبه قلیایی

Na
Hg, Ag, Cs, Rb, K
Pb

فلز نجیب

طلا

آنیون‌ها و
کمپلکس‌های
آنیونی

F, Cl, S, P, C

با اکسیژن و
هیدروژن

n_ss81@yahoo.com

جایگاه زمین‌شناسی

n_ss81@yahoo.com

► معمولا مرتبط با کوهزایی و پس از کوهزایی

► حواشی همگرا

► بسیاری از گرانیت‌ها و پگماتیت‌ها در امتداد گسل‌های فعال عمیق و همزمان با رخدادهای تکتونیکی و دگرگونی (Hart, 2007)

نوع گرانیت تعیین کننده است:

- فراوانی عناصر و مواد فرار
 - درجه اکسیداسیون
 - رفتار در خلال فرایندهای تفریق
- (Blevin, 2004)

پارامترهای مهم

✓ عمق جایگیری ماگمای گرانیتی

✓ ترکیب و مقدار آب ماگما

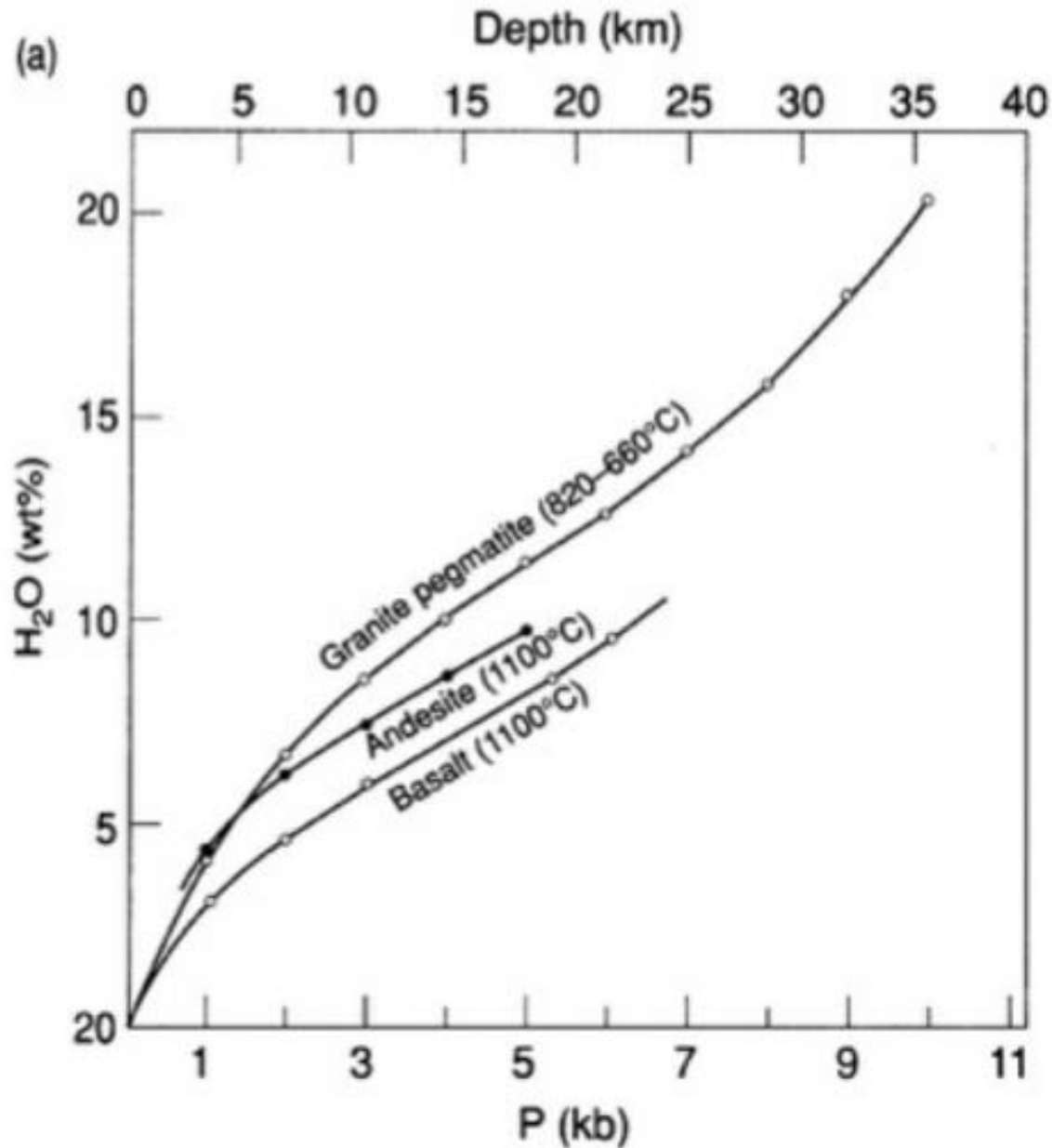
ماگمای گرانیتی نوع S

- آب بیشتر
- از ذوب مواد در پوسته
میانی تا تحتانی
- جوشش ثانوی

ماگمای گرانیتی نوع A

- آب کمتر
- از پوسته عمیق و تاثیر
گوشته فوقانی، صعود تا
اعماق کم
- جوشش اولیه
- سیستم پرفیری

n_ss81@yahoo.com



n_ss81@yahoo.com

حتی در فشار یک کیلو بار ماگمای
گرانیتی می تواند بیشتر از چهار
درصد وزنی آب در خود داشته باشد

after Burnham (1979)

ارزش گرانی توئید؟؟؟

➤ قلمروی گسترده

➤ زودرس

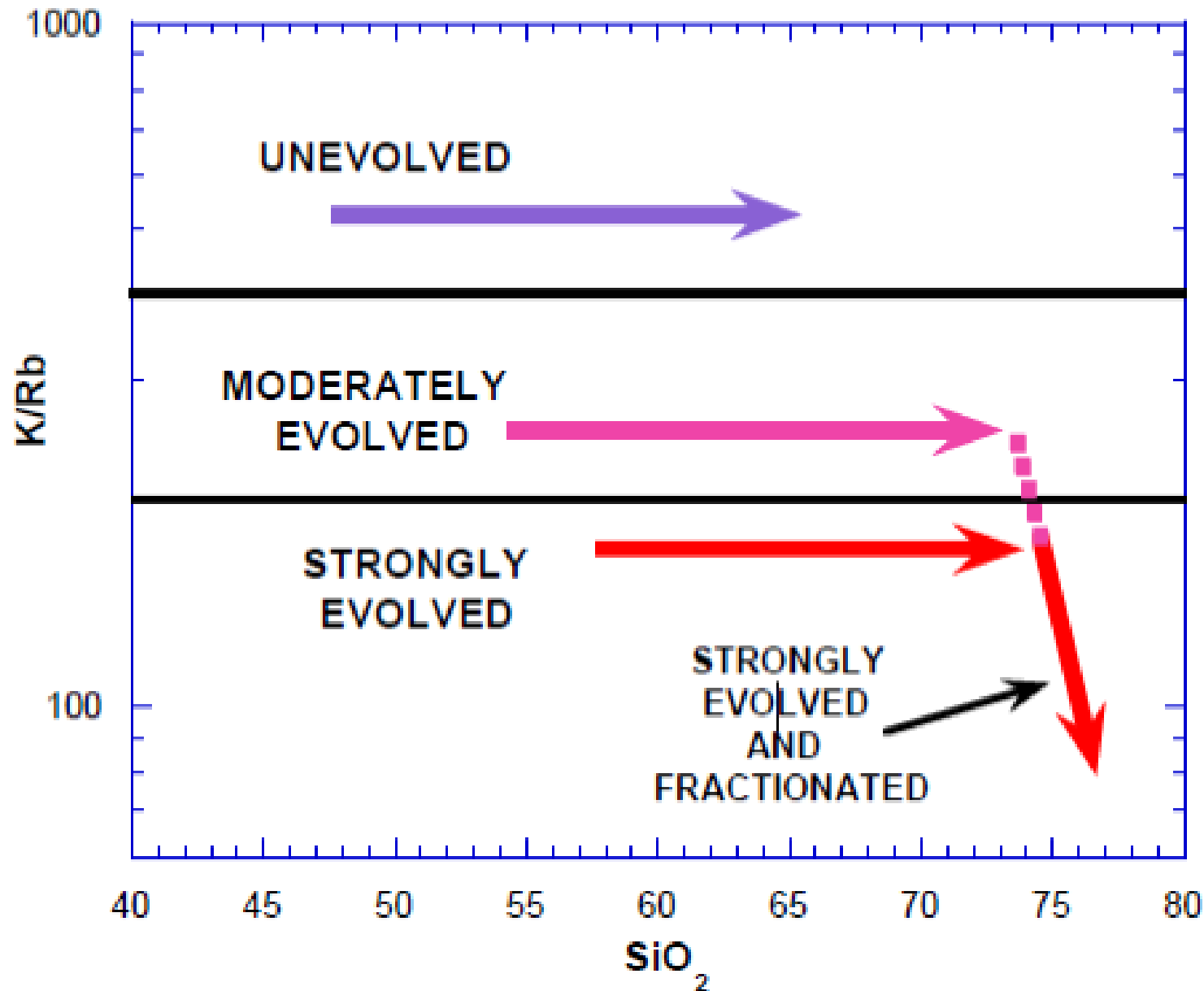
➤ تفریق نیافته

➤ پتاسیم کم

➤ تحت اشباع

n_ss81@yahoo.com

کاهش نسبت K/Rb در
گرانیت‌های تحول یافته

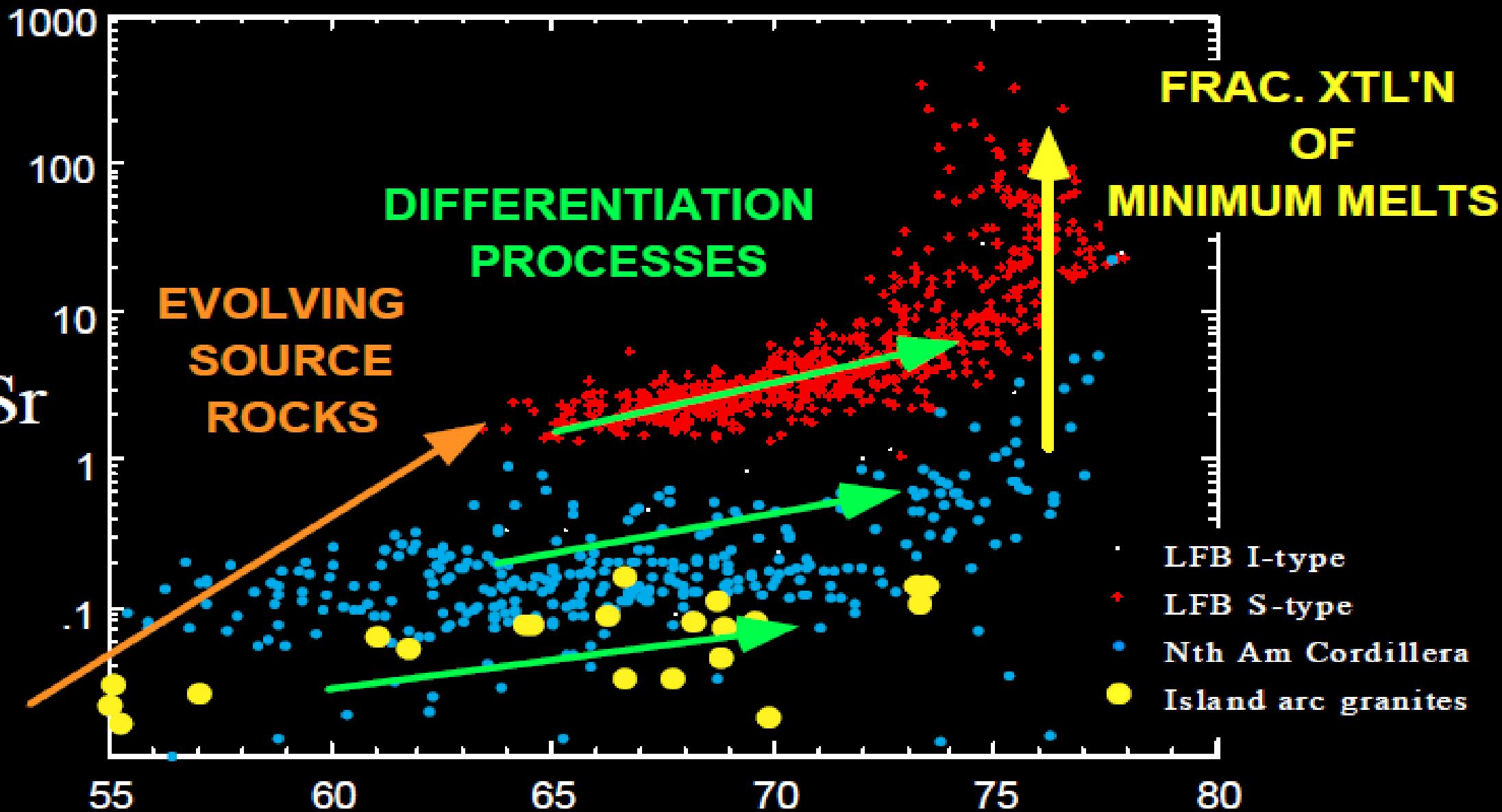


تبلور تفریقی قوی‌تر
گرانیت
=
کانه‌سازی بیشتر

n_ss81@yahoo.com

Blevin, 2004

Rb/Sr



n_ss81@yahoo.com

SiO₂

وضعیت اکسیداسیون

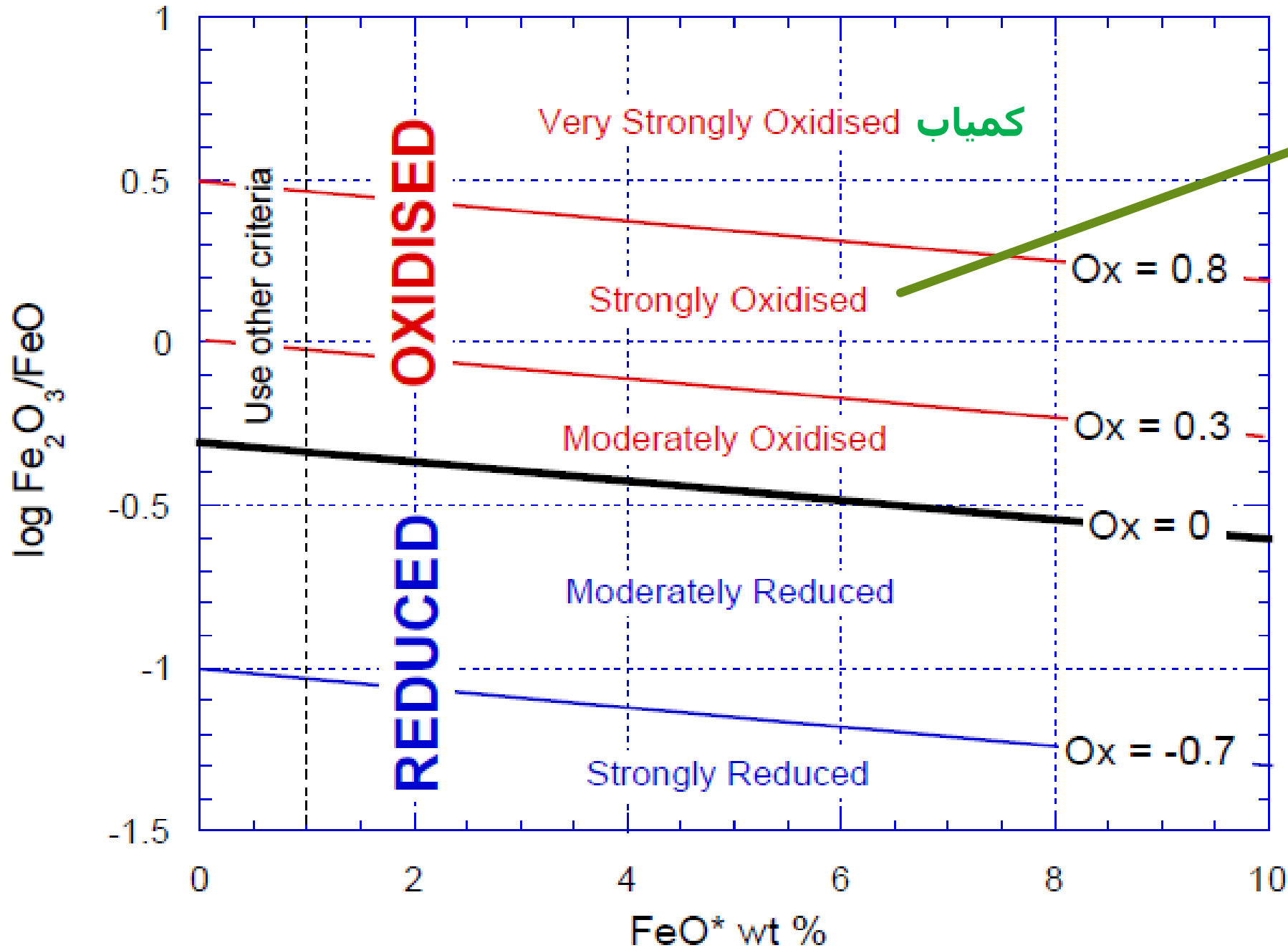
- ▶ وضعیت اکسیداسیون کنترل کننده **سازگاری/ناسازگاری** عناصر کانه ساز
- ▶ بیشتر از منبع به ارث برده می شود اما واکنش با سنگ دیواره نیز موثر است
- ▶ تفکیک به دو سری ایلمنیتی و منیتیتی از نظر مطالعات پتروگرافی، کانی شناسی، نسبت Fe_2O_3/FeO سنگ کل و روشهای ژئوفیزیکی سودمند است
- ▶ پارامتر اکسیداسیون:

$$\Delta O_x = \log_{10}(Fe_2O_3/FeO) + 0.3 + 0.03 * FeO^*$$

که در آن:

$$FeO^* = (0.9 * Fe_2O_3) + FeO$$

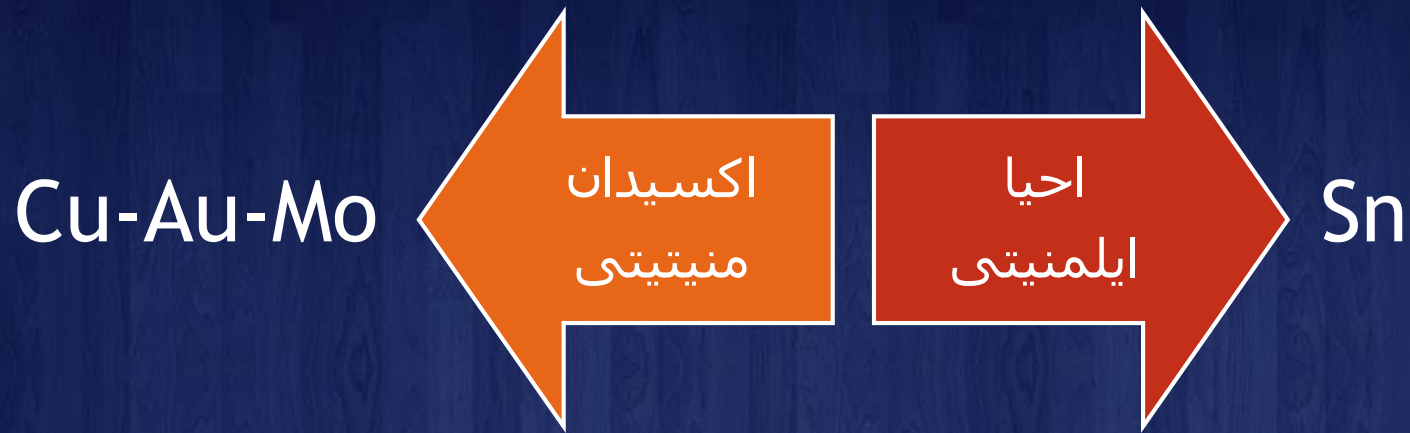
n_ss81@yahoo.com



- مگنتیت فراوان و تیتانیت، بیوتیت با منیزیم بالا
- مس و طلاى پرفیری

n_ss81@yahoo.com

- ▶ طبقه بندی بر اساس پارامتر اکسیداسیون
- ▶ رنگ کانی ها:
- ▶ کفلسپار صورتی
- ▶ بیوتیت قرمز



n_ss81@yahoo.com

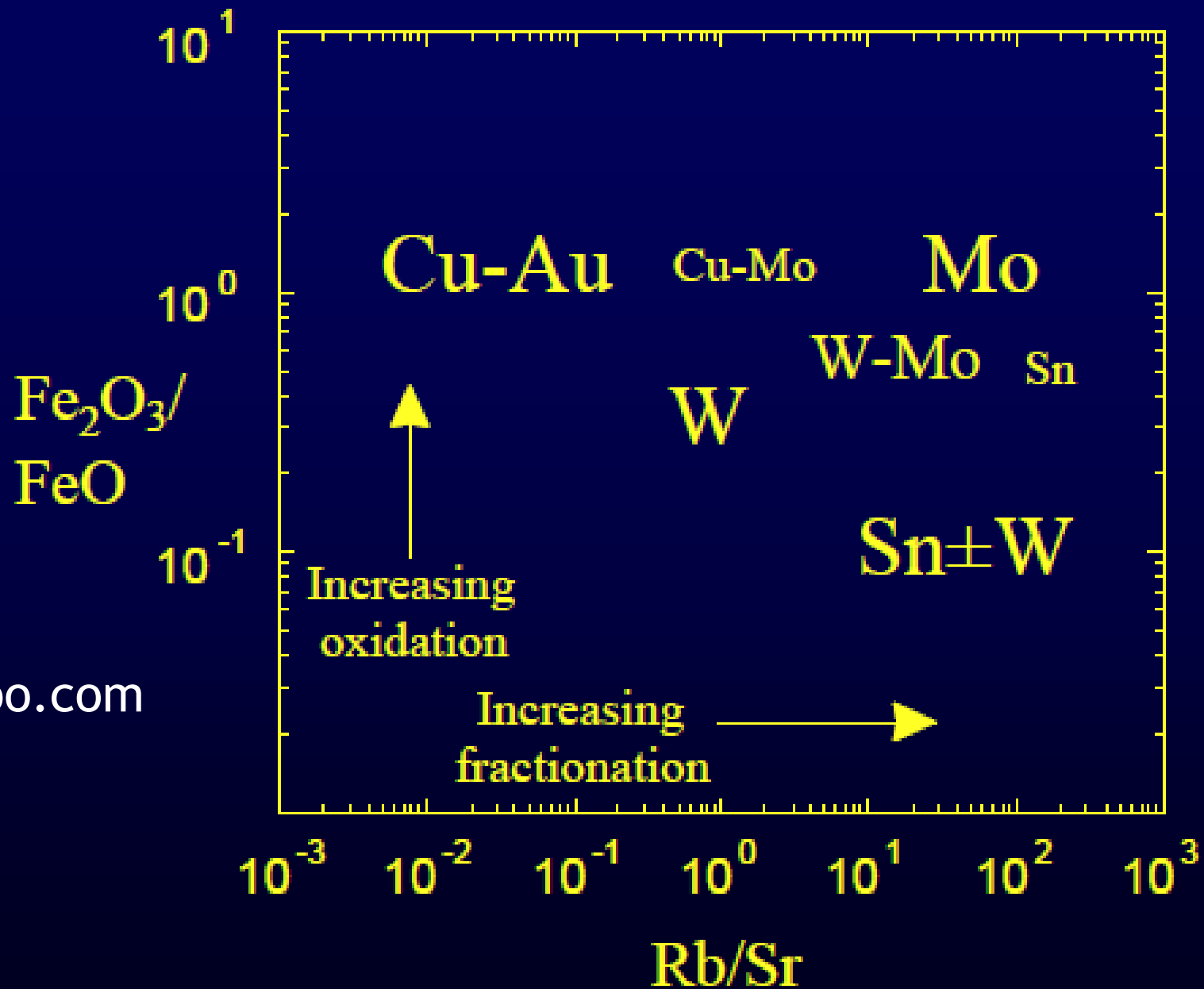


مگنتیت: Fe³⁺

ایلمنیت: Fe²⁺

- ▶ ویژگی‌های ماگما یعنی وضعیت اکسیداسیون، تحول ترکیبی و میزان سیلیس
- ▶ عناصر core ارتباط تنگاتنگی با ترکیب ماگما دارند

n_ss81@yahoo.com



مدل اختلاط

► فعل و انفعال بین همرفت حرارتی و ترکیبی و انتشار شیمیایی

► یک فرایند غیرخطی، آشفته و فرکتال

► گرانی و چگالی

► اختلاط بین مذاب بازالتی و گرانی می تواند باعث افزایش جدایش عناصر و در نتیجه تمرکز آنها شود

n_ss81@yahoo.com

مدل جدایش ماگمایی

▶ ناهمبازی مایع

▶ همراهی سینیت های اولتراپتاسیک و پیروکسنیتها در جنوب هند

▶ ناهمبازی مایع بین مذاب های آلومینوسیلیکاته و آبدار باعث جدایش B، Na و Fe از

مذاب آبدار می شود.

n_ss81@yahoo.com

سرگذشت ماگما تا سیال هیدروترمال

n_ss81@yahoo.com



مرحله ماگمایی

n_ss81@yahoo.com

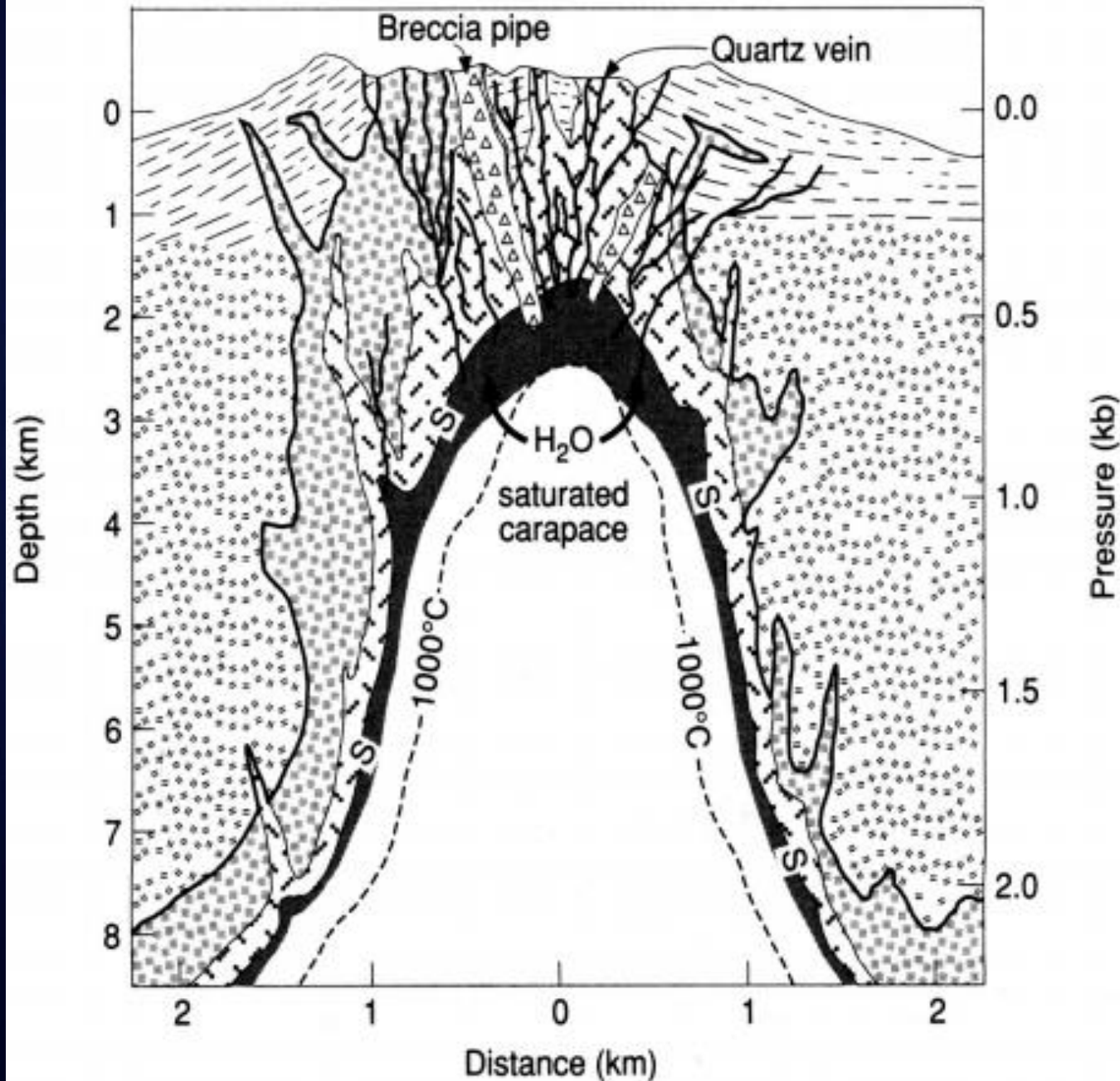
- ▶ مذاب + جامد همزاد
- ▶ تبلور سیلیکات ها
- ▶ افزایش تمرکز گرانوفیل ها
- ▶ ایجاد فاز اشباع از آب

مرحله ذوب

- ▶ ذوب ماگما
- ▶ ورود عناصر گرانوفیل به مذاب
- ▶ وجود آب محلول در ماگما

جوشش

n_ss81@yahoo.com

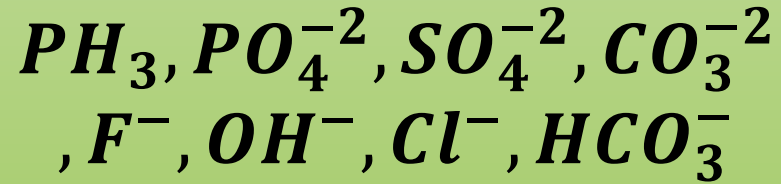


- ❖ اشباع بخار: جوشش
- ❖ وقتی فشار تعادلی بخار ماگما = فشار بار روی سیستم
- ❖ اشباع بخار به دو روش:
- تداوم تبلور ماگما: جوشش ثانوی
- کاهش فشار روی سیستم: جوشش اولیه

Robb, 2005

آنیون‌های کمپلکس

یونی:



- ▶ مذاب + جامد + همزاد سیال
- ▶ دمای 500 تا 600 درجه
- ▶ ایجاد سیال فوق بحرانی
- ▶ جوشش
- ▶ افزایش حجم
- ▶ شکست
- ▶ وجود کمپلکس های یونی
- ▶ ته نشینی فاز اشباع سیال: ایجاد پگماتیت

مرحله گرمایی

- ▶ جامد + مایع آبی + فاز بخار
- ▶ کاهش فشار و دما
- ▶ ایجاد جوشش و تشکیل فاز بخار
- ▶ افزایش اسیدیته
- ▶ انحلال و حمل فلزات

n_ss81@yahoo.com

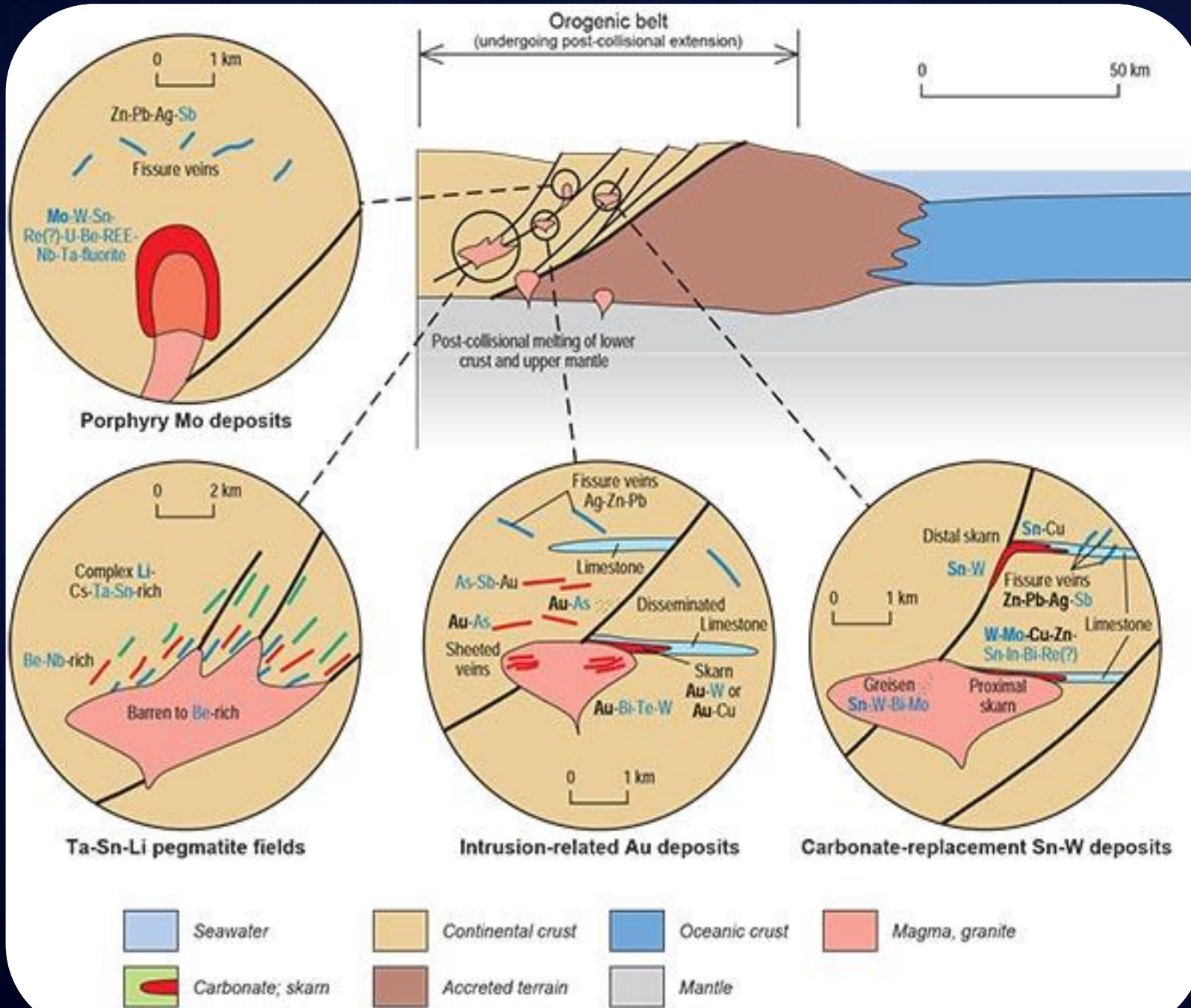
مرحله پنوماتولیکی

- ▶ جامدات + سیال آبی فوق بحرانی
- ▶ دمای 100 تا 500 درجه
- ▶ اتمام تفریق مذاب
- ▶ واکنش سیال با سنگ میزبان
- ▶ ایجاد گرایزن

گرایزن

- اجتماع کانیایی ثانوی
- تشکیل توسط دگرسانی سنگ های گرانیتی یا فراگیر با اضافه شدن عناصری مثل:
 - Li, Be, B, F, H2O, Si
 - تشکیل میکای سفید غنی از Li، کوارتز، توپاز، تورمالین، فلوریت
 - الگوی زونه و نامتقارن
 - کاسیتريت کانه اصلی
 - حاوی core and rare metal
- Sn, W, Ta, Nb, Be, Zn, Cu, Pb

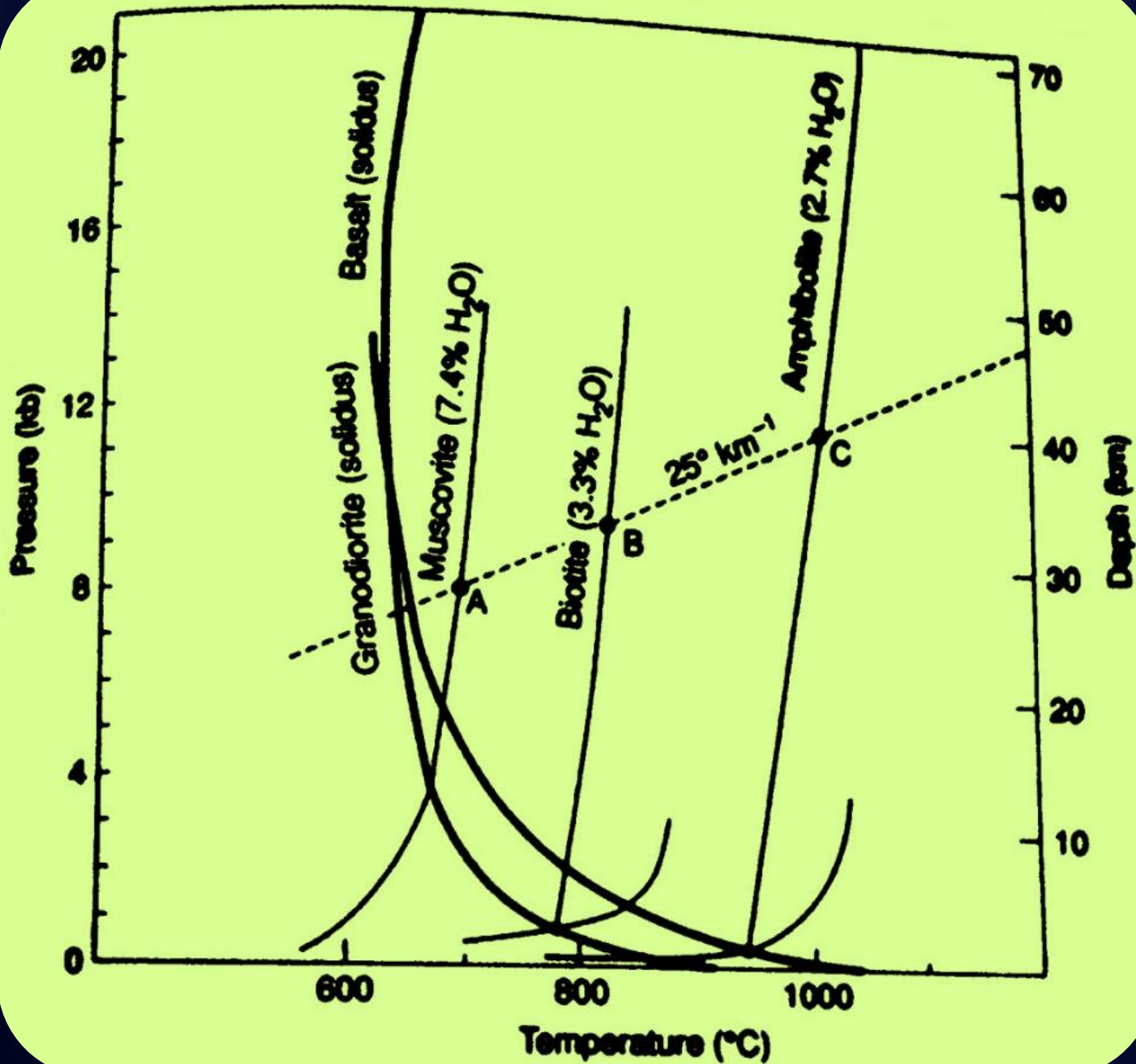
n_ss81@yahoo.com



سیستم کانه زایی
مرتبط با گرانیت‌ها

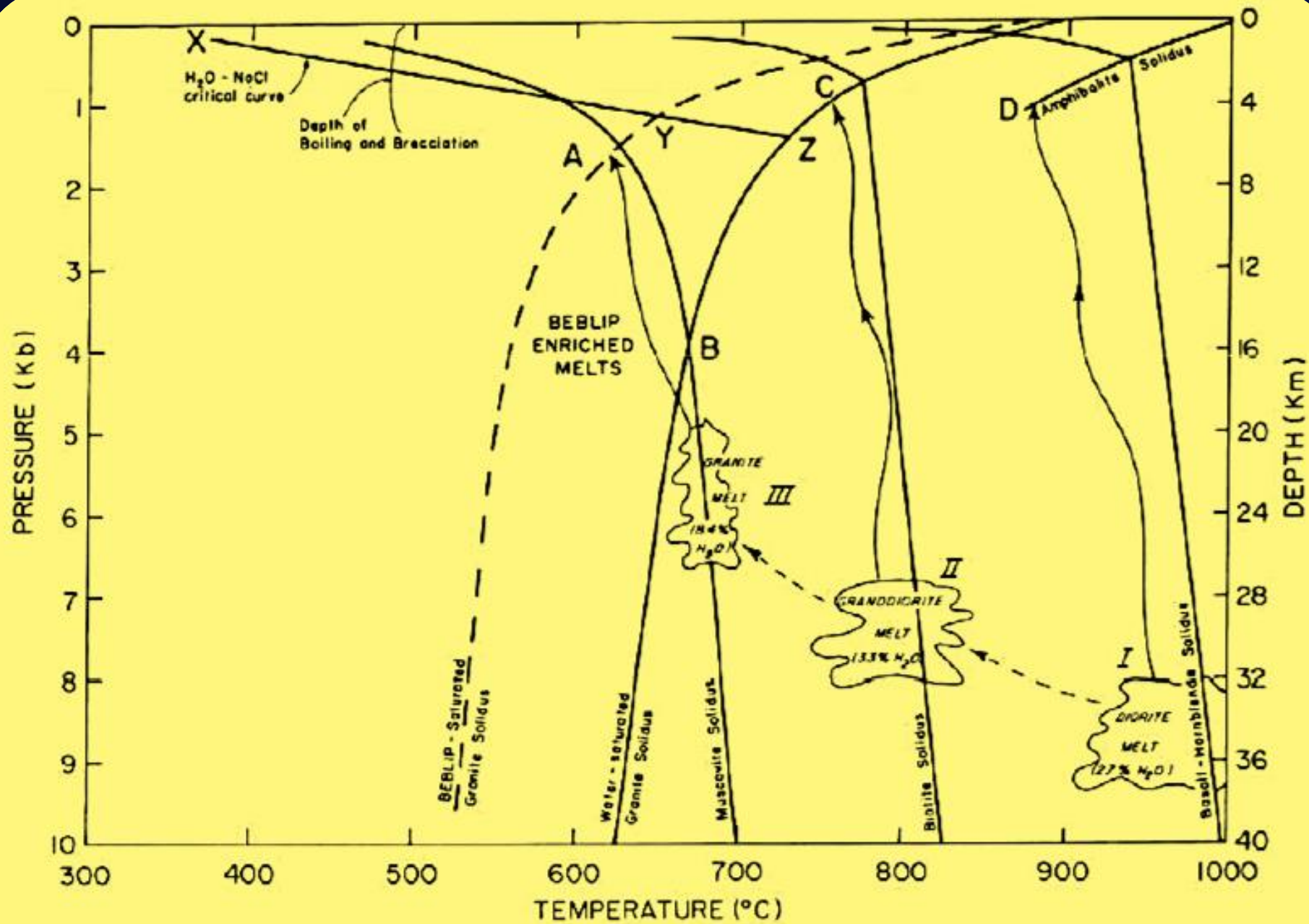
n_ss81@yahoo.com

(Luddington and Plumlee, 2009)



شرایط احتمالی فشار- دمای
حاکم بر ذوب آبیگری
(بورنهام، 1997)

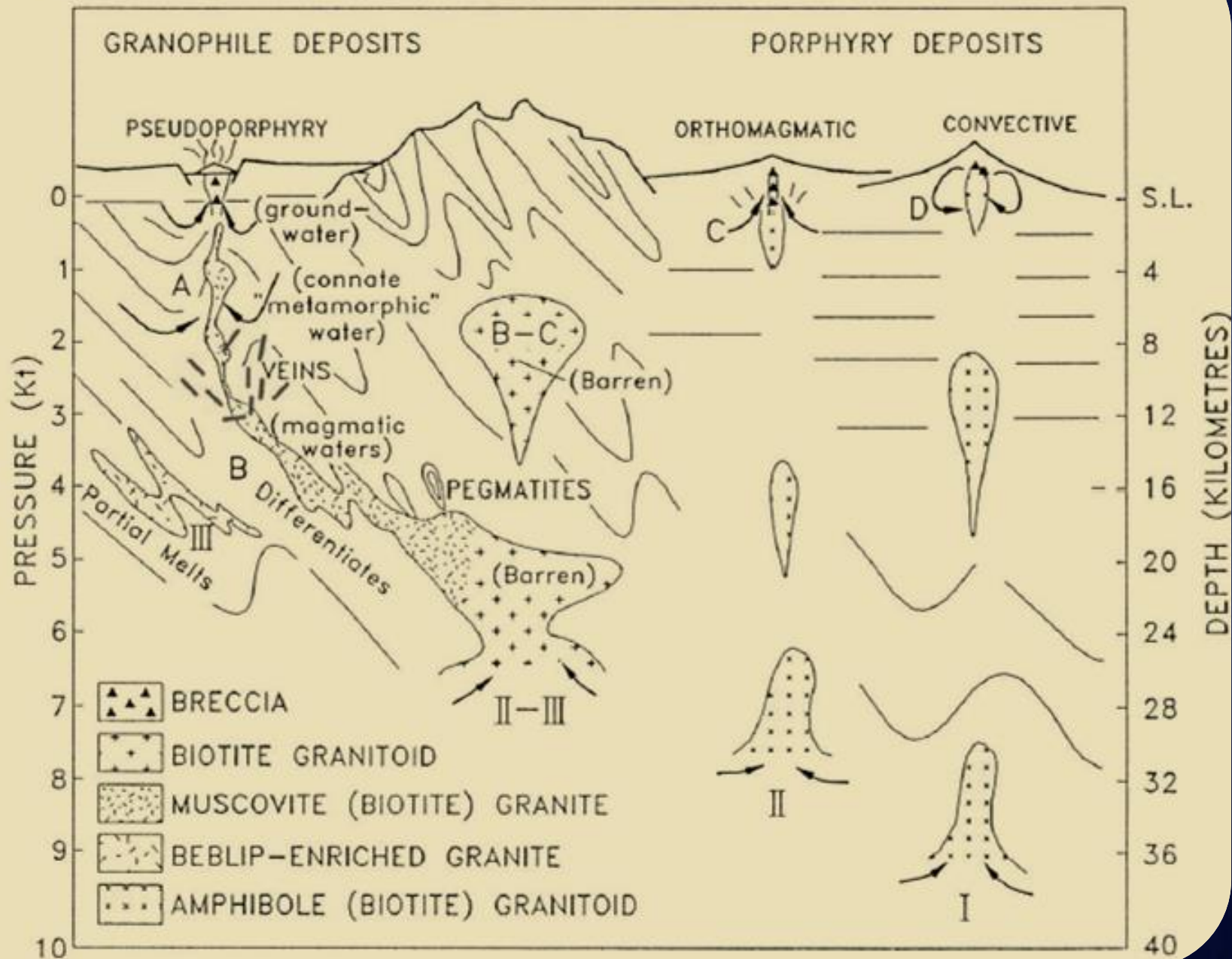
n_ss81@yahoo.com



n_ss81@yahoo.com

Strong, 1988

GRANOPHILE METAL DEPOSITS - SETTING



n_ss81@yahoo.com

Strong, 1988

اهمیت پگماتیت‌ها

n_ss81@yahoo.com

▶ تبلور در حضور یا عدم حضور سیال آبکی

▶ مصارف صنعتی درشت بلورهای کوارتز، فلدسپات و موسکویت

▶ حاوی کانی‌های فرعی نیمه قیمتی: تورمالین، توپاز و بریل

▶ حاوی عناصر لیتوفیل بزرگ یون:

▶ Zr, Ce, Cs, Nb, Ta, B, Be, Li, Tb, V, W, Sn

تقسیم بندی پگماتیت‌ها

Na-Y-F

- گرانیت ساب آکالن تا متاآلومین
- نوع I

n_ss81@yahoo.com

Li-Cs-Ta

- غنی از B
- گرانیت پرآلومین
- نوع S

مفهوم ژنتیکی
Cernay, 1991

مدل‌های زایش پگماتیت‌ها

مدل ماگمایی

- (London, 2008)
- تبلور سیالات گرانیتی
پنوماتولیکی در سنگ میزبان

مدل دگرگونی

- (Simmons et al., 1996)
- سیالات از آبزدایی سنگ‌های
دگرگونی در هاله گرانیت

مدل متاسوماتیک

- واکنش سیالات داغ با سنگ
باعث تغییر در بافت و ترکیب
سنگ و ایجاد پگماتیت

✓ مدل
ماگمایی

n_ss81@yahoo.com

مسیر حرکت سیالات

عوامل کنترل کننده:

▶ گسلها

▶ زون های برشی

❖ کنترل کننده جریان سیالات هیدروترمال

❖ کنترل کننده جایگیری ماگماها

▶ آبخوان های چینه ای

▶ ماگماهای کانه زا

▶ ساختارهای موجود قبلی

ماگما منبع سیالات، فلزات و انرژی

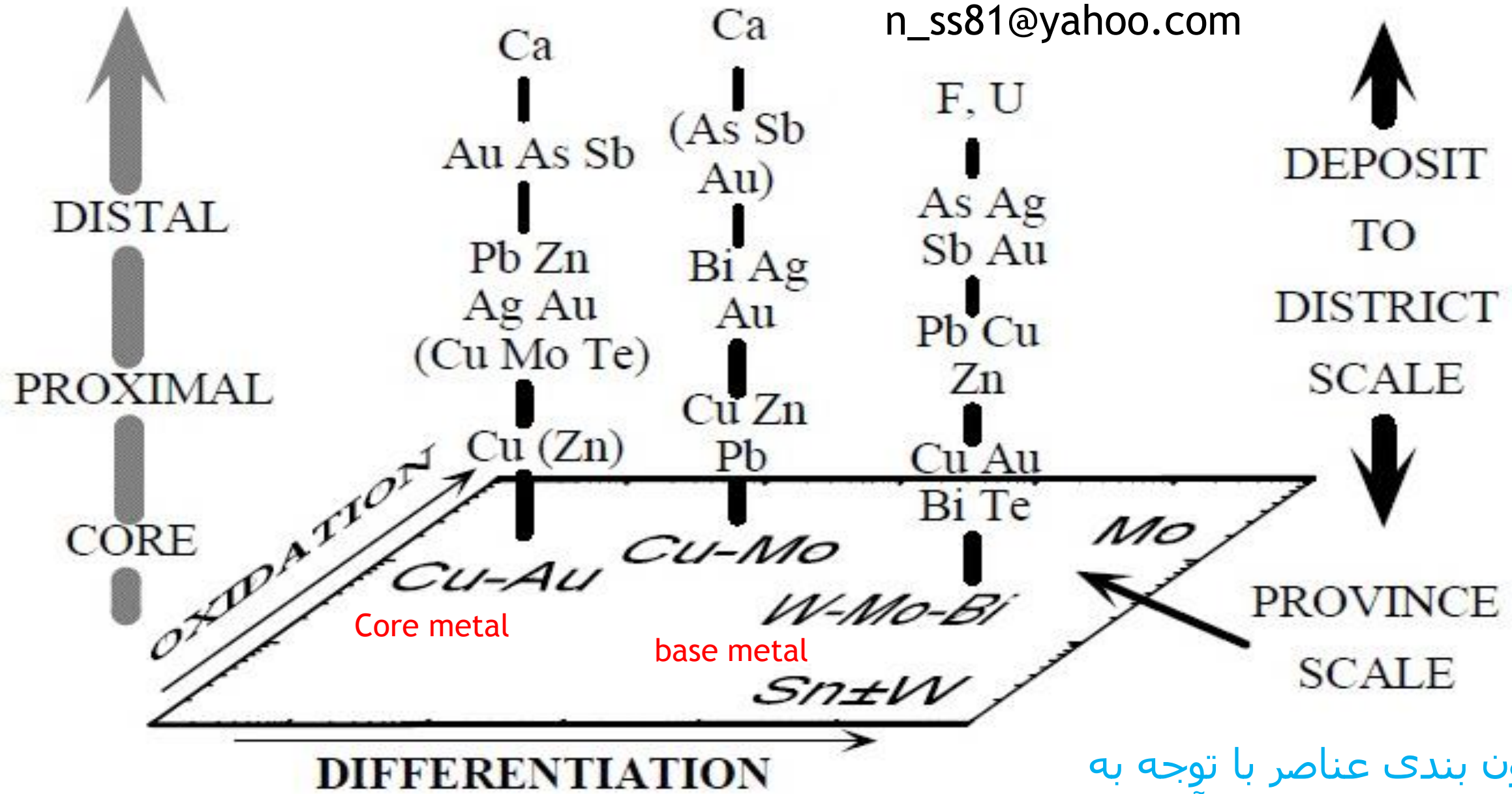
n_ss81@yahoo.com

ویژگی های شاخص سیستم کانه زایی

- ▶ به شدت زونه مخصوصا در مقیاس ناحیه ای
- ▶ زونیشن به طور معمول با تجمع کانه ها در اطراف گرانیت شروع می شود. سپس تجمع فلزات کم دما یعنی Zn ، Pb ، Ag
- ▶ زونیشن اطراف نهشته های Sn در سنگ میزبان کربناته:
- ▶ $\text{Sn-W} \rightarrow \text{As} \rightarrow \text{Cu} \rightarrow \text{Pb-Zn-Ag} \rightarrow \text{Sb}$ (Kitto 1998)
- ▶ زونیشن در نهشته های طلای مربوط به نفوذی ها:
- ▶ $\text{Au-Bi-Te} \pm \text{W} \rightarrow \text{As-Au} \rightarrow \text{As-Sb-Au} \rightarrow \text{Ag-Pb-Zn}$ (Hart, 2005)

n_ss81@yahoo.com

n_ss81@yahoo.com



زون بندی عناصر با توجه به میزان فاصله از توده آذرین

بافت متوسط
دانه هم اندازه

بافت‌های
مختلف

فرایندهای
دینامیک

شرایط تعادلی
تبلور

جریان و سرد
شدگی ماگما

بی حاصل

اختلاط و خروج
مواد فرار و ...

بافت

n_ss81@yahoo.com

متالوژنی گرانیت‌های نوع A

- ▶ اولین بار در گرانیت مزوزویک نیجریه (Kinnaird, 1958; Jacobson et al., 1987; Bowden et al., 1985)
 - ▶ پراآلکالن غنی از فلورین و پراآلومینوس نیوبیوم و قلع
 - ▶ ارتباط گرانیت نوع A با کانی سازی قلع طی چهل سال اخیر
 - ▶ کانه زایی قلع و گرانیت نوع S
 - ▶ Zr ، Ta ، Nb و فلورین
 - ▶ گرانیت نوع A پراآلکالن کانه زایی HFSE (Zr, Nb, Y, and REE) نیز دارد
- (Salvi and Williams-Jones, 2006)

n_ss81@yahoo.com

► در بعضی از مناطق ارتباط مستقیمی بین گرانیت نوع A آبدار و کانه زایی مس وجود دارد. به نظر میرسد که این نوع گرانیت ها می توانند تحت شرایط خاص میزبان نهشته‌های مس پرفیری باشند (Bi et al. 2000)

► کانسارهای IOCG نیز از نظر مکانی و زمانی مربوط به گرانیت‌های نوع A هستند.

n_ss81@yahoo.com

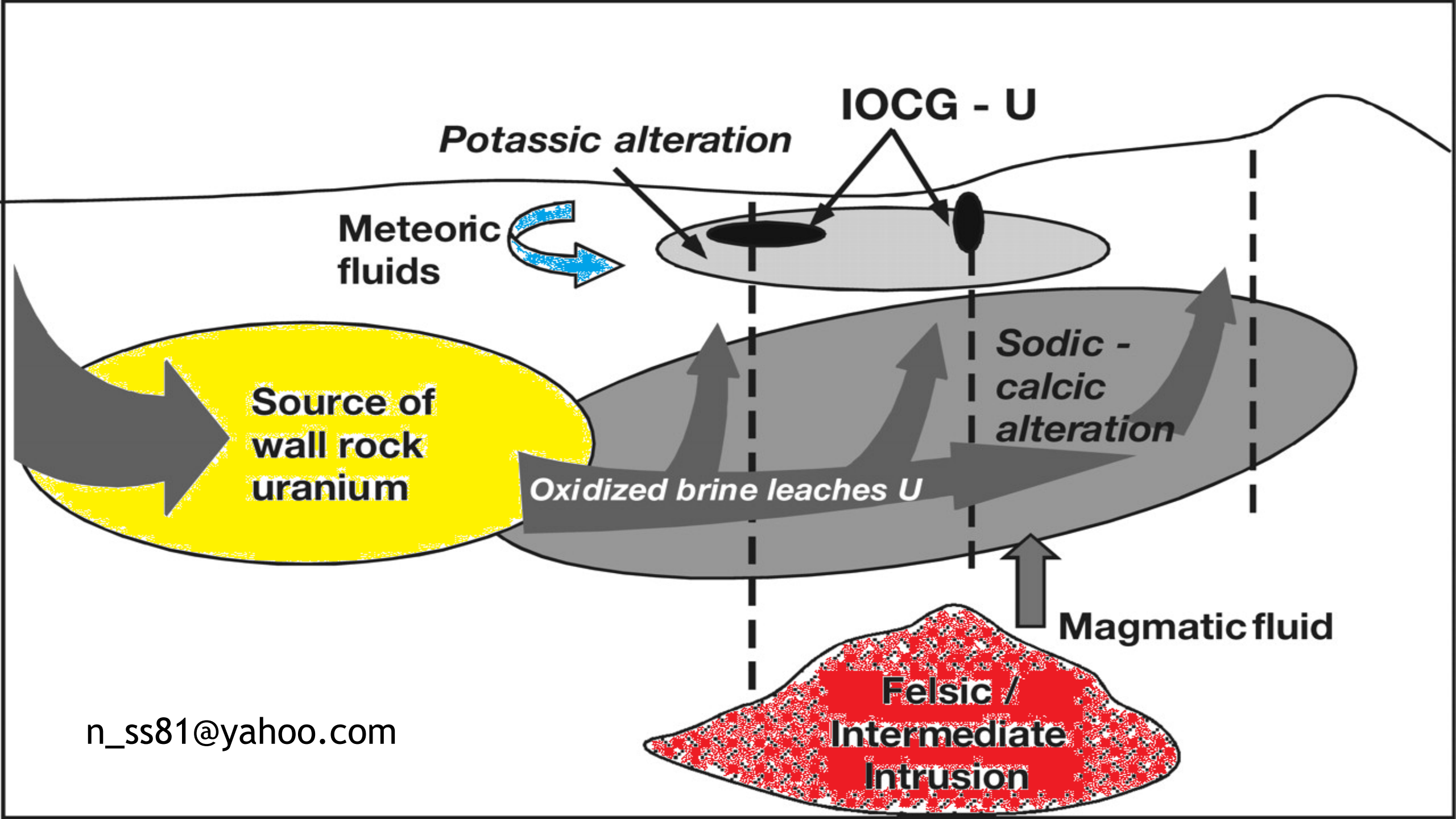
IOCG

Iron Oxide-Copper-Gold

سامانه‌های کانه زایی اکسید آهن- مس- طلا- اورانیوم- عناصر نادر خاکی

n_ss81@yahoo.com

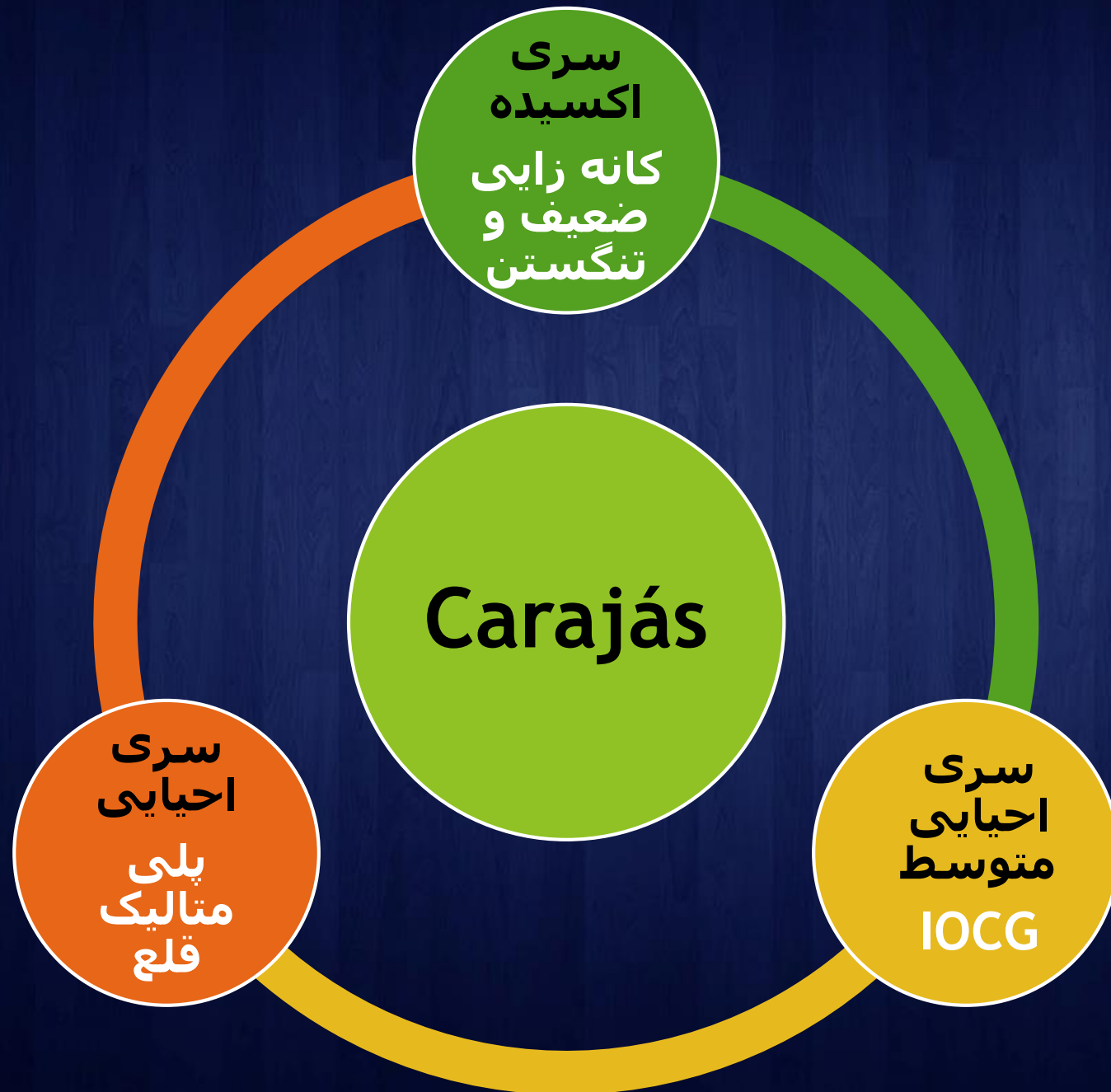
- سیستم‌های هیدروترمال وابسته به نفوذی رژیم‌های ماگمایی غیرکوهزایی در جایگاه‌های تکتونیکی کششی
- نفوذی‌هایی که از نظر زمانی با سیستم های IOCG همراهند سری مگنتیتی-آلکان تا ساب آلکان هستند که دامنه ترکیب از دیوریت تا سینوگرانیت با شواهدی از اختلاط مافیک-فلسیک دارند
- گرانیتوئیدهای نوع A و I یا ماگماهای به شدت آلکان-کربناتی، جایگاه های درون کراتونی یا کمان دور از منشا که در آنها سیالات فلزدار اکسیدان و فقیر از S آزاد شده اند.
- حضور CO₂، که در ادخال‌های سیال کانه های IOCG یافته شده، نقش مهمی را برای رهاسازی سیال ایفا کرده و تفکیک آلکالی ها بین مذاب سیلیکاته و سیالها را تحت تاثیر قرار می دهد و شورابه‌ای با نسبت Na/K بالا تولید می کند که در نهایت دلیل آلتراسیون سدیک گسترده در سنگ های میزبان پیرامون است (پولارد ۲۰۰۶، ۲۰۰۱ و ویلیامز و دیگران ۲۰۰۵)



n_ss81@yahoo.com

n_ss81@yahoo.com

مثال
گرانیت غیر کوهزایی
پالئوپروٹروزویک در
کراتون شرق آمازون



جمع‌بندی

- ▶ عواملی متعددی در تشکیل کانسارهای وابسته به گرانیت‌ها دخیل هستند. n_ss81@yahoo.com
- ▶ وضعیت اکسیداسیون ماگما و درجه تفریق، طبیعت سیستم کانه‌زایی را تعیین می‌کند
- ▶ عناصر همراه با گرانیت‌ها دارای دو میل ژئوشیمیایی کالکوفیل و گرانوفیل هستند.
- ▶ انواع کانسارهای پراآلمینه عناصر لیتوفیل، کانسارهای متاآلمینه عنصر کالکوفیل مس و مولیبدن، کانسارهای پراآلمینه فلزات نادر

با تشکر از توجه شما

n_ss81@yahoo.com