

## Geochemistry and Mineralogy of the Sangan Iron Ore Deposit

Karimpour, M.H.

*Ferdowsi University of Mashhad,  
Mashhad , IRAN*

**Key Words:** *Sangan Mine, Hedenbergite, Ferro-actinolite, Ripodolite , Andradite  
Ferro-pargasitic Hornblende.*

**Abstract:** The Sangan iron ore deposit is located 298km south east of Mashhad. The magnetite ore body is 4.2km long and 30 to 300 meter wide. The mineralization is hosted by carbonate of upper Jurassic-lower Cretaceous. Magnetite and associated minerals are analyzed by electron microscope. The Ti, Mn, Ni, Cr, P and Mg content of magnetite are very low. The MgO content of magnetite in Dardway, Baghian and C-north is between 1 to 3.5 percent. Paragenesis of magnetite in A deposit are andradite, hedenbergite , calcite , and a rare amphibole such as ferro-paragasitic hornblende, in the A, B and C deposits are ferro-actinolite, calcite and Fe-rich chlorite such as ripidolite, in Dardway deposit are phlogopite, siderite and garnet and for Baghain deposit are dolomite, phlogopite and clinchlore. The temperature of formation of A deposit was higher than 400 based on the mineralogy and the intrusive rocks. The temperature of formation of B deposit were calculated 300 based on the composition of chlorite. The Fe-rich magmatic fluid associated with the quartz monzonite (outcrop at A') was reacted with the dolomitic limestone and formed the magnetite skarn. Chlorine rich amphibole may indicate that iron were carried as chlorine complexes in the fluid.

پژوهشی

## ژئوشیمی و کانی شناسی کانسار سنگ آهن سنگان خراسان

محمد حسن کریم پور

دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده: کانسار سنگ آهن سنگان خراسان در ۲۹۸ کیلومتری جنوب، جنوب شرقی مشهد و در نزدیکی مرز افغانستان واقع شده است. توده های مگنتیت به طول ۴٫۲ کیلومتر و عرض ۳۰ الی ۳۰۰ متر با امتداد شرقی غربی در سنگهای کربناته ژوراسیک فوقانی کرتاسه تحتانی به طریق متاسوماتیزم [دگرنهادی] تشکیل شده است. کانسار سنگان به لحاظ بالا بودن عیار آهن و میزان ذخیره آن، و پایین بودن عناصر گوگرد و فسفر، از جمله ذخایر مهم آهن نوع اسکارنی ایران و دنیا بشمار می آید. با بررسیهایی که با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روی مگنتیت و کانی های همراه آن، انجام گرفت، معلوم شد که میزان فراوانی عناصر  $\text{Ni}$ ،  $\text{Cr}$ ،  $\text{Ca}$ ،  $\text{P}$ ،  $\text{Ti}$ ،  $\text{Mn}$  و  $\text{Mg}$  در مگنتیت بسیار ناچیز است، و میزان  $\text{MgO}$  در مناطق دردوی (منطقه شمالی C)، و باغین (شکل ۱) به حدود ۱ الی ۳٫۵ درصد می رسد.

پاراژنز مگنتیت در بخش A' شامل آندرادیت، هیدبرگیت، کلسیت و آمفیبول کمیاب غنی از کلر نوع فروپارگاسیتیک هورنبلند است. پاراژنز بخشهای A، B و بخش جنوبی C از فروکتینولیت، کلریت غنی از آهن نوع ریپیدولیت و کلسیت تشکیل شده است. پاراژنز بخش شمالی C و باغین، دولومیت، کلینوکلروفلوگوپیت و بخش دردوی شامل فلوگوپیت و سیدریت است.

واژه های کلیدی: معدن سنگان، پیروکسن غنی از آهن، اکتینولیت غنی از آهن، کلریت غنی از آهن، آندرادیت.

## زمین شناسی منطقه

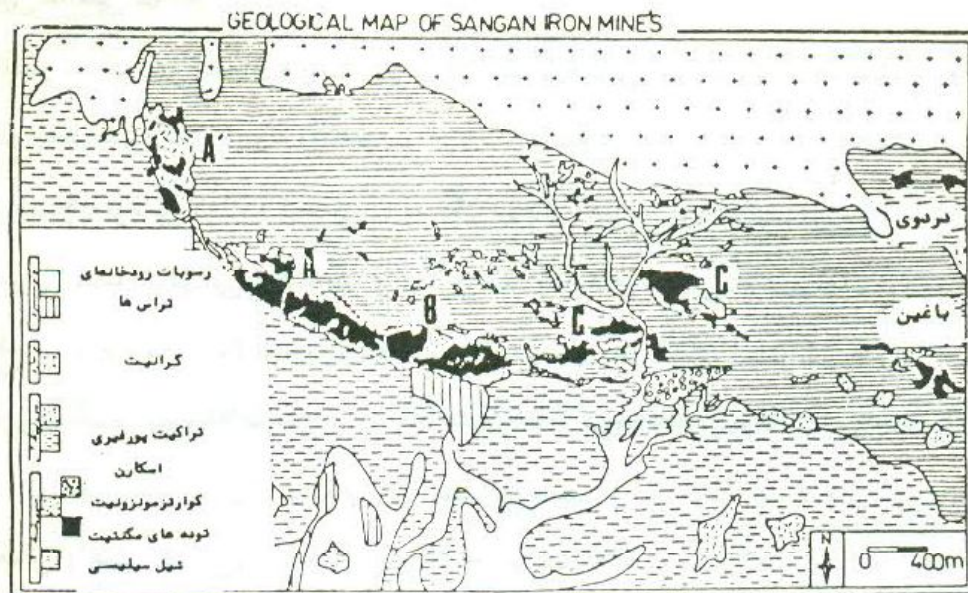
کانسار سنگ آهن سنگان خراسان در شرق رشته کوههائی که از درونه تا افغانستان ادامه دارد، واقع شده است. گسل درونه در جنوب این رشته کوههای اصلی قرار دارد. آهکهای دولومیتی ژوراسیک فوقانی کرتاسه تحتانی [۱] سنگ میزبان آهن اند. توده های آهن در راستای شرقی - غربی به طول تقریبی ۴ کیلومتر قرار گرفته اند. شیل های سیلیس دار در شمال توده های آهن واقع شده اند (شکل ۱). برخوردگاه جنوبی توده های آهن گسلی است. در جنوب توده های آهن، سنگهای پیروکلاستیکی و اپی کلاستیکی با ترکیب اندزیت و داسیت وجود دارند، که در آنها به مقدار زیادی دایک و شیل نفوذ کرده اند. در این منطقه سنگ های آذرین کالک آلکان [آهکی قلیایی] با ترکیب اسید تا حد واسط به صورت دایک، شیل و استوک به فراوانی وجود دارند [۲]. اکثر سنگهای آذرین تحت تأثیر دگرسانی ارژلیک و سرستیک واقع شده اند. [فعالتهای ماگمایی]، ماگماتیزم در زمان تشکیل کانسار آهن و پس از آن ادامه داشته است. در سمت شمال توده های آهن، گرانیت سرنوسر رخنمون شده اند (شکل ۱). سن این گرانیت ۳۸۲ میلیون سال تعیین شد.

## روش تحلیل

به منظور بررسی ترکیب شیمیایی مگنتیت و کانی های همراه، از تمامی توده های آهن از سطح زمین و از مغزه ها نمونه برداری شد. تحلیل عنصری کانی ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی SX-50-Cameca در دانشگاه تاسمانیا (استرالیا) انجام شد. شرایط تحلیل کانی ها در جدول شماره (۱) گزارش شده است.

جدول ۱ شرایط تحلیل عنصری کانی ها

| نام کانی                | KV | nA | درشت نمایی |
|-------------------------|----|----|------------|
| کلیت، کربنات و فلوگوپیت | ۱۵ | ۱۰ | ۱۰۰۰۰۰     |
| آمفیبول                 | ۱۵ | ۱۵ | ۱۰۰۰۰۰     |
| مگنتیت                  | ۱۵ | ۲۰ | ۱۰۰۰۰۰     |
| گارنت و پیروکسن         | ۱۵ | ۲۰ | ۲۰۰۰۰۰۰    |



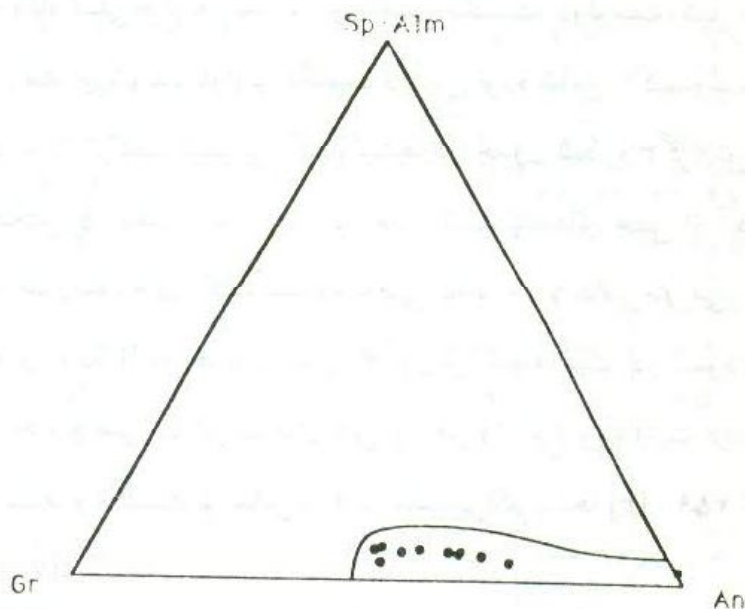
شکل ۱ - نقشه زمین شناسی منطقه معدن آهن سنگان [۴]

#### پاراژنز، کانی سازی توده های مگنتیت

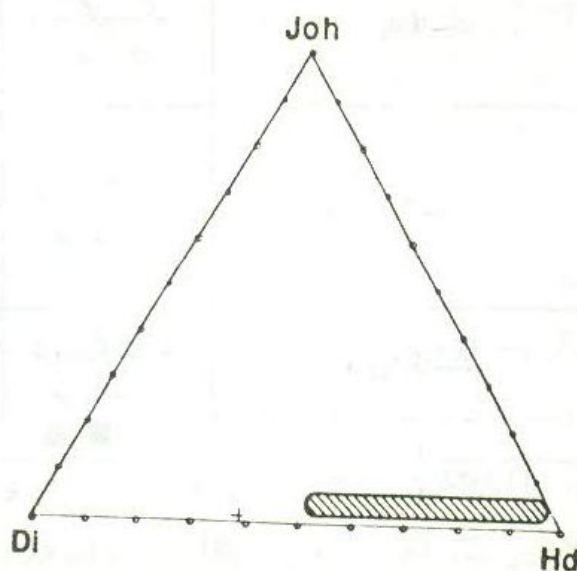
مگنتیت مهمترین کانی آهن درونزاد کانسار سنگان است. کانی سازی مگنتیت در سنگهای کربناته (ژوراسیک فوقانی - کرتاسه تحتانی) صورت گرفته است. توده های مگنتیت در راستای شرقی غربی تشکیل شده و از شرق به غرب شامل توده های A، A'، B بخش جنوبی C، شمالی C، باغین، و دردوی است (شکل ۱).

توده مگنتیت A': توده A' در شمال غربی تشکیل شده، و چند توده مگنتیت کوچک در آن دیده می شوند. کوارتز مونزونیت و گرانیت پورفیر، در سنگهای کربناته نفوذ کرده و موجب تشکیل اسکارن آهن شده اند. پاراژنز مگنتیت عبارت اند از: گارنت، آمفیبول، پیروکسن، کلسیت و کوارتز. بعد از مگنتیت گارنت فراوانترین کانی است. اندازه بلورهای گارنت هابه ۲cm می رسد. تجزیه شیمیایی گارنت ها در جدول ۲ گزارش شده اند. گارنت ها از نوع آندرادیت اند و حداکثر به میزان ۴۸ درصد گروسولاریت، ۴۵ درصد آلماندین و ۱۹

درصد اسپسارترین دارند (شکل ۲). پیروکسن از نوع هدربرگیت است و به مقدار بسیار اندک یافت می شود (شکل ۳). ضمناً یک نوع آمفیبول بسیار نادر در برخوردگاه مگنتیت با توده های نفوذی تشکیل شده است. این آمفیبول غنی از  $(\text{Cl} = 2)$ ، و از نوع فروپارگاسیتیک هورنبلند است (شکل ۴).



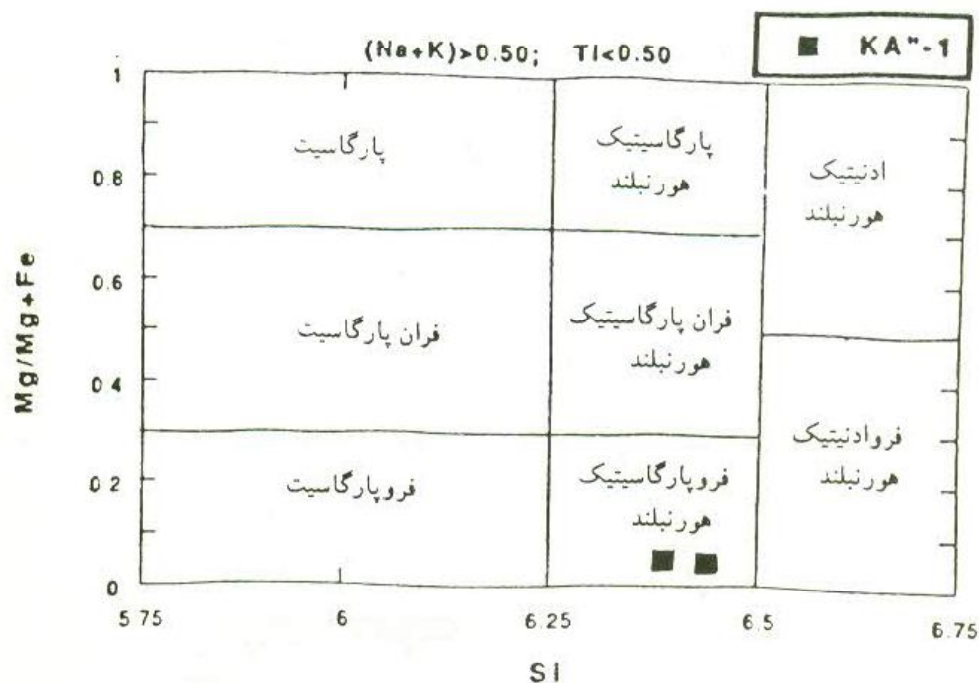
شکل ۲ ترکیب کانی شناختی گارنت های منطقه A'



شکل ۳ ترکیب کانی شناختی پیروکسن های منطقه A'

## توده‌های مگنتیت A و B و بخش جنوبی C

بخش مهم ذخیره آهن در این سه توده قرار دارد. ضخامت توده‌های مگنتیت حدود ۲۰۰ الی ۳۵۰ متر و شیب آنها ۸۰ تا ۸۵ درجه به سمت جنوب است. توده‌های مگنتیت در سمت شمال به شیل‌های سیلیس‌دار برخورد می‌کند. در جنوب سنگ‌های پیروکلاستیکی و اپی کلاستیکی به صورت برخوردگاه گسلی قرار دارند. در زون گسلی مگنتیت، دولومیت، شیل سیلیس‌دار و سنگهای آذرین یافت می‌شوند. پاراژنز مگنتیت در این توده شامل: اکتیولیت، کلریت، کوارتز و کلسیت است. ترکیب شیمیایی اکتیولیت‌ها در جدول شماره ۳ گزارش شده است. بنابر نمودار شکل ۵، تقسیم‌بندی آمفیبول‌ها، اکتیولیت‌های غنی از آهن از نوع فرواکتیولیت‌اند. طول بلورهای اکتیولیت در بعضی نقاط به ۱۰ سانتی متر می‌رسد. ترکیب شیمیایی کلریت‌های توده B در جدول شماره ۳ گزارش شده است. در نمودار شکل ۶ تقسیم‌بندی کلریت‌ها، به صورت کلریت‌های غنی از آهن و از نوع ریپیدولیت دیده می‌شوند. دمای تشکیل کلریت‌ها و مگنتیت بر اساس ترکیب شیمیایی کلریت‌ها [۳]، ۲۵۹ الی ۳۱۰°C محاسبه شد (شکل ۷).



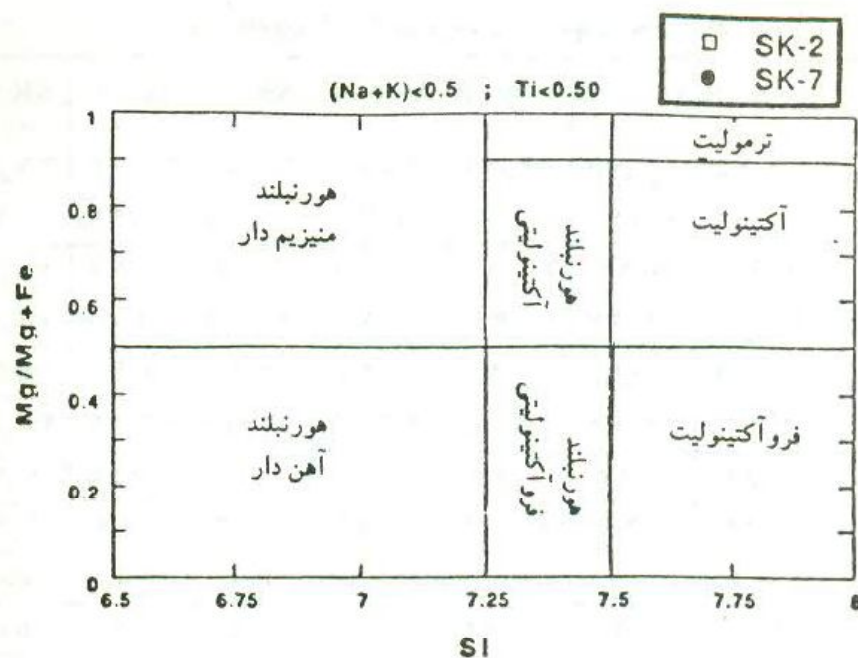
شکل ۴ آمفیبول کمیاب غنی از کلر بخش A'

جدول ۲ ترکیب شیمیایی گارنتهای بخش A'

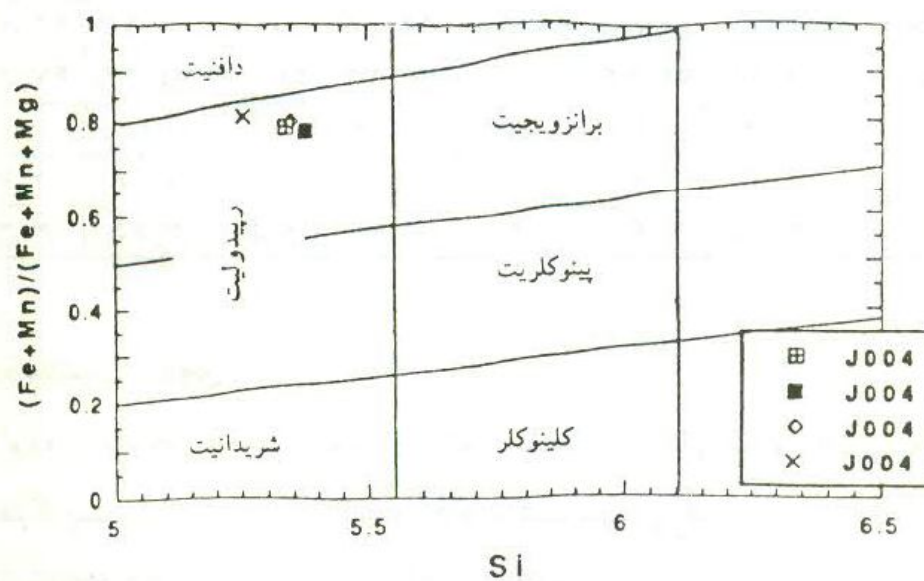
| اکسیدها                        | A-۱-R | A-۱-C  | A-۴-R  | A-۴-C  | SK-۴   | SK-۷   | SK-۷   |
|--------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | ۳۵٫۴۵ | ۳۶٫۷۵  | ۳۴٫۹۹  | ۳۵٫۸۶  | ۳۶٫۵۱  | ۳۷٫۱۳  | ۳۶٫۸۹  |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰٫۰۸۹ | ۰٫۱۲۱  | ۰٫۰۰۷  | ۱٫۴۸   | ۰٫۰۲۵  | ۰٫۱۹۴  | ۰٫۶۷   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۳٫۴۸  | ۸٫۶۴   | ۳۱٫۱۱  | ۲۰٫۰۲  | ۶٫۴۳   | ۱۰٫۷۶  | ۱۱٫۲۳  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۲۶٫۳۹ | ۱۹٫۲۷  | ۰٫۳۴   | ۷٫۱۶   | ۲۲٫۶۶  | ۱۶٫۶   | ۱۵٫۲۳  |
| MgO                            | ۰٫۰۰۹ | ۰٫۰۳۴  | ۰٫۰۳۷  | ۰٫۱۱   | n.d.   | n.d.   | n.d.   |
| CaO                            | ۳۲٫۳  | ۳۲٫۴۹  | ۳۲٫۷۵  | ۳۳٫۱۶  | ۳۳٫۵۴  | ۳۳٫۹۹  | ۳۸٫۷۹  |
| MnO                            | ۰٫۵۹  | ۱٫۲۳   | ۰٫۴۴   | ۰٫۸۲   | ۰٫۶    | ۰٫۸۵۷  | ۱٫۲۱   |
| FeO                            | ۰٫۹۲  | ۲      | ۰٫۵۸۶  | ۱٫۵۹   | ۱٫۱۲   | ۱٫۷۷   | ۱٫۶۵   |
| Na <sub>2</sub> O              | ۰٫۰۲۱ | ۰٫۰۰۷  | n.d.   | ۰٫۰۱۸  | n.d.   | n.d.   | n.d.   |
| K <sub>2</sub> O               | n.d.  | n.d.   | ۰٫۰۱۳  | ۰٫۰۰۱  | n.d.   | n.d.   | n.d.   |
| F                              | ۰٫۲۲  | n.d.   | ۰٫۱۴۱  | ۰٫۰۷۲  | ۰٫۰۱۹  | ۰٫۰۶   | ۰٫۰۲۶  |
| Cl                             | ۰٫۰۱۴ | n.d.   | n.d.   | ۰٫۰۱۵  | ۰      | ۰      | ۰٫۰۱   |
| Total                          | ۹۹٫۴۸ | ۱۰۰٫۷۵ | ۱۰۰٫۴۲ | ۱۰۰٫۳۳ | ۱۰۰٫۹۲ | ۱۰۱٫۳۸ | ۱۰۰٫۷۵ |
| UV                             | ۰     | ۰      | ۰      | ۰      | ۰      | ۰      | ۰      |
| AD                             | ۸۳٫۲۶ | ۵۸٫۱۸  | ۹۷٫۴۵  | ۶۳٫۶۸  | ۶۸٫۵   | ۴۸٫۹۳  | ۴۶٫۰۸  |
| GR                             | ۱۳٫۱۶ | ۳۴٫۴۴  | ۰      | ۳۰٫۳۹  | ۲۷٫۶۲  | ۴۵٫۳۴  | ۴۷٫۶۸  |
| PY                             | ۰٫۰۴  | ۰٫۱۴   | ۰٫۱۶   | ۰٫۴۴   | ۰      | ۰      | ۰      |
| SP                             | ۱٫۴   | ۲٫۷۷   | ۱٫۰۳   | ۱٫۸۸   | ۱٫۳۵   | ۱٫۸۸   | ۲٫۷    |
| Al                             | ۲٫۱۵  | ۴٫۴۷   | ۱٫۳۶   | ۳٫۶۱   | ۲٫۵۱   | ۳٫۸۵   | ۳٫۶    |

## توده مگنتیت دردوی

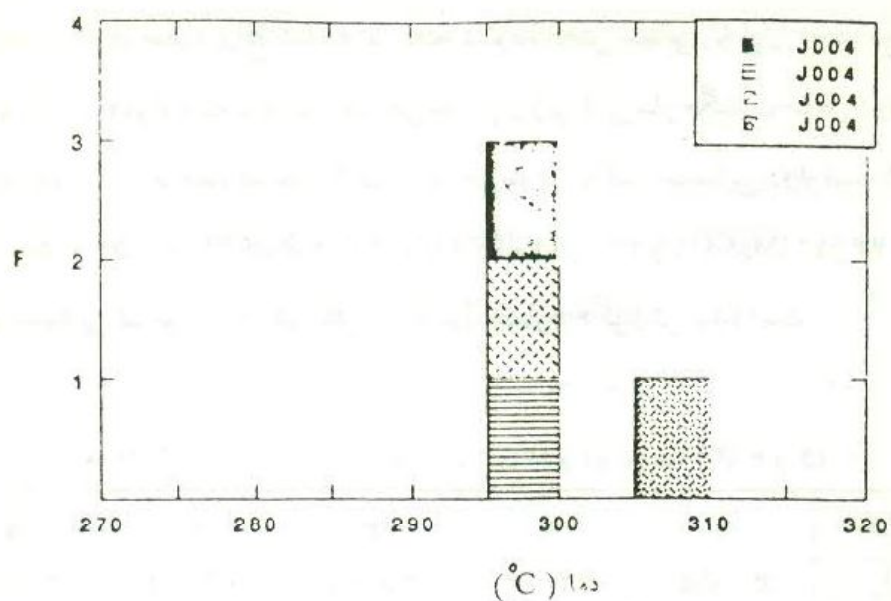
این توده در نزدیکی گرانیت سرنوسر واقع شده است. پاراژنکانی سازی مگنتیت عبارت اند از: فلوگوپیت، آندرادیت و کربنات. در صد ترکیب شیمیایی کربناتها به این قرار است:  $\text{CaCO}_3$  (۵۲٫۷۳٪)،  $\text{MgCO}_3$  (۲۹٫۰۸٪)،  $\text{FeCO}_3$  (۱۶٫۰۶٪) و  $\text{MnCO}_3$  (۲٫۱۸٪). این توده به لحاظ بالابودن عیار آهن و ذخیره آن و ناچیز بودن میزان P و S، به عنوان باارزشتین توده در این منطقه است و بهره برداری می شود.



شکل ۵ نمودار تعیین نوع اکتینولیت.



شکل ۶ نمودار تعیین نوع کلریت.



شکل ۷ نمودار دمای تشکیل کلریت های بخش B.

جدول ۳ ترکیب شیمیایی اکتینولیت و کلریت

| اکسیدها                        | اکتینولیت | اکتینولیت | اکتینولیت | کلریت  | کلریت | کلریت |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | ۴۸٫۹      | ۴۸٫۵۶     | ۴۹٫۱۶     | ۲۳٫۰۸۲ | ۲۳٫۵۸ | ۲۳٫۷۱ |
| TiO <sub>2</sub>               | ۰٫۰۲۹     | ۰٫۰۲۷     | ۰٫۲۶۳     | ۰٫۰۲۴  | ۰٫۰۳  | ۰٫۰۱۴ |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۱٫۱       | ۱٫۲۹      | ۱٫۸۱      | ۱۸٫۸۶  | ۱۸٫۶۲ | ۱۸٫۶۸ |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | ۰٫۰۳۳     | ۰٫۰۰۵     | n.d.      | ۰٫۲۵   | ۰٫۰۸  | n.d.  |
| MgO                            | ۳٫۶۸      | ۳٫۸۱      | ۴٫۲۲      | ۵٫۳۹   | ۵٫۴۲  | ۶٫۰۷  |
| CaO                            | ۱۱٫۴۹     | ۱۱٫۳      | ۱۰٫۴      | ۰٫۰۸   | ۰٫۹۳  | ۰٫۰۹  |
| MnO                            | ۰٫۴       | ۰٫۲۹      | ۰٫۶۵      | ۰٫۱۱   | ۰٫۱۶  | ۰٫۰۸  |
| FeO                            | ۳۱٫۳۳     | ۳۱٫۹۲     | ۳۰٫۸۷     | ۴۱٫۹۴  | ۴۰٫۵۹ | ۴۰٫۰۹ |
| Na <sub>2</sub> O              | ۰٫۲۸      | ۰٫۲۷      | ۰٫۵۸      | n.a    | n.a   | n.a   |
| K <sub>2</sub> O               | ۰٫۳       | ۰٫۳۳      | ۰٫۲۳      | n.a    | n.a   | n.a   |
| H <sub>2</sub> O               | ۱٫۷۸      | ۱٫۸۴      | ۱٫۷۵      | ۱۰٫۵۲  | ۱۰٫۵۷ | ۱۰٫۵۵ |
| F                              | ۰٫۱۳      | n.d       | n.a       | n.a    | n.a   | n.a   |
| Cl                             | ۰٫۱۵      | ۰٫۱۵      | n.a       | n.a    | n.a   | n.a   |
| Total                          | ۹۹٫۶۳     | ۹۹٫۷۹     | ۹۹٫۹۴     | ۱۰۰٫۰۷ | ۹۹٫۹۸ | ۹۹٫۳۱ |

## توده مگنتیت باغین

این توده در شرق منطقه واقع شده و در امتداد توده بخش شمالی C قرار دارد. مگنتیت به صورت لایه‌ای همراه با دولومیت یافت می‌شود. پاراژنز کانی‌ساز مگنتیت شامل دولومیت و کلینوکلر است. در مغزه‌ها، فلوگوپیت نیز دیده می‌شود. ترکیب شیمیایی دولومیت شامل:  $\text{CaCO}_3$  (۵۴٫۱۵٪)،  $\text{MgCO}_3$  (۰٫۲٪)،  $\text{FeCO}_3$  (۰٫۶۹٪) و  $\text{MgCO}_3$  (۴۴٫۱۶٪) است. ترکیب شیمیایی فلوگوپیت و کلینوکلر در جدول شماره ۴ گزارش شده است.

جدول ۴ ترکیب شیمیایی کلینوکلر (۱ و ۲) و فلوگوپیت (۳، ۴ و ۵).

| اکسیدها                 | ۱      | ۲      | ۳      | ۴      | ۵     |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| $\text{SiO}_2$          | ۳۱٫۸۵  | ۳۲٫۰۴  | ۴۵٫۲۱  | ۴۳٫۶۲  | ۳۶٫۱۳ |
| $\text{TiO}_2$          | ۰٫۰۵۴  | ۰٫۰۳۸  | ۰٫۱۲۳  | ۰٫۰۹۷  | ۰٫۰۴۷ |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | ۱۷٫۸۸  | ۱۸٫۶۲  | ۱۰٫۱۳  | ۱۱٫۱۷  | ۱۷٫۰۷ |
| $\text{Cr}_2\text{O}_3$ | ۰٫۰۱۲  | ۰٫۰۵   | n.a    | n.a    | n.a   |
| $\text{MgO}$            | ۳۵٫۳۵  | ۳۲٫۸۵  | ۲۵٫۸۵  | ۲۵٫۰۱  | ۲۸٫۷۱ |
| $\text{CaO}$            | ۰٫۰۴۸  | ۰٫۰۱۷  | ۰٫۰۲۲  | ۰٫۰۰۱  | ۰٫۱۱۸ |
| $\text{MnO}$            | ۰٫۰۲۴  | ۰٫۰۴   | ۰٫۰۰۱  | ۰٫۰۲۱  | ۰٫۰۰۱ |
| $\text{FeO}$            | ۱٫۹۳   | ۱٫۷۶   | ۵٫۴    | ۵٫۵    | ۱٫۵۸  |
| $\text{Na}_2\text{O}$   | ۱٫۰۱۹  | ۰٫۰۰۰۶ | ۰٫۱۶۲  | ۰٫۱۳۳  | ۰٫۰۸۸ |
| $\text{K}_2\text{O}$    | ۰٫۰۲۳  | ۱٫۲    | ۸٫۶۲۷  | ۹٫۲۰۹  | ۷٫۴۴  |
| F                       | ۰٫۷۰۷  | ۰٫۵۲۵  | ۱٫۳۹   | ۱٫۸۷   | ۰٫۶۸  |
| Cl                      | ۰٫۰۰۲۴ | ۰٫۰۳   | ۰٫۰۶۳  | ۰٫۲۷   | ۰٫۰۵۱ |
| $\text{H}_2\text{O}$    | ۱۱٫۶۱  | ۱۱٫۹۶  | ۳٫۶۱   | ۳٫۲۷   | ۷٫۶۳  |
| Total                   | ۹۹٫۵   | ۱۰۰٫۰۴ | ۱۰۰٫۵۹ | ۱۰۰٫۱۹ | ۹۹٫۵۷ |

## کانی شناختی و ژئوشیمی سنگ آهن

مگنتیت مهمترین کانی سنگ آهن است که در مراحل اولیه تشکیل شده است. این کانی در سطح زمین و مناطقی که تحت تأثیر محلول‌های گرمایی قرار دارد، به مقدار جزئی به هماتیت

اکسید شده است. مگنتیت به صورت بلورهای هشت وجهی در اندازه‌های ۱ تا ۱۰ میلیمتر یافت می‌شوند. مقدار کمی پیریت پروتیت، آرسینوپیریت و کالکوپیریت نیز همزمان و یا پس از مگنتیت تشکیل شده‌اند.

ترکیب شیمیایی مگنتیت از توده‌های مختلف در جدول ۵ گزارش شده است. میزان اکسیدهای  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ،  $\text{CaO}$ ،  $\text{NiO}$ ،  $\text{MnO}$  در مگنتیت بسیار کم است (جدول ۵). میزان  $\text{MgO}$  در مگنتیت توده‌های دردودی، بخش شمالی C و باغین بیش از سایر توده‌هاست و بین ۵۰٪ الی ۳۵٪ است (جدول ۵). میزان  $\text{MgO}$  در مگنتیت و سیلیکاتهای همراه رابطه مستقیم دارند. پاراژنز مگنتیت در بخش شمالی C، باغین و دردودی، فلوگوپیت کلینوکلردولومیت است. در صورتی که در توده‌های A و B و بخش جنوبی C کلسیت، کلریت و اکتینولیت غنی از آهن است.

میزان ذخیره معدن سنگان ۶۲۲ میلیون تن برآورد شده است، که در ۴۳۹ میلیون تن آن عیار آهن (Fe) ۵۳٪ و در ۱۸۳ میلیون تن ۳۳٪ است. میزان گوگرد و فسفر این کانسار بسیار ناچیز و از ۰۰۳٪ فسفر و ۰۰۱-۲۲٪ گوگرد تشکیل شده است.

جدول ۵ ترکیب شیمیایی مگنتیت توده‌های مختلف

|         | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{FeO}$ | $\text{TiO}_2$ | $\text{MgO}$ | $\text{CaO}$ | $\text{MnO}$ | $\text{NiO}$ | $\text{Cr}_2\text{O}_3$ | نسبت |
|---------|-------------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|------|
| A-۱     | ۶۹٫۱                    | ۳۱           | ۰٫۰۲           | ۰٫۰۲         | n.d.         | ۰٫۱۲         | n.d.         | ۰٫۰۳                    | ۹۹٫۹ |
| A-۳     | ۶۸٫۲                    | ۳۰٫۵         | ۰٫۰۳           | ۰٫۰۳         | n.d.         | ۰٫۱۴         | n.d.         | n.d.                    | ۹۹٫۸ |
| A-۴     | ۶۸٫۱                    | ۳۰٫۵         | n.d.           | ۰٫۰۲         | ۰            | ۰٫۱          | ۰٫۰۲         | ۰٫۰۲                    | ۹۹٫۸ |
| Bagh-۳  | ۶۹                      | ۲۹           | ۰٫۰۳           | ۱٫۱۴         | ۰٫۰۵         | ۰٫۱۱         | n.d.         | ۰٫۰۲                    | ۹۳٫۴ |
| Bagh-۵  | ۶۹٫۶                    | ۲۵٫۶         | ۰٫۰۳           | ۳٫۱۴         | n.d.         | ۰٫۱۸         | ۰٫۰۳         | ۰٫۰۲                    | ۸۲٫۱ |
| Bagh-۵  | ۷۰٫۶                    | ۲۵           | n.d.           | ۳٫۶۵         | ۰٫۰۲         | ۰٫۲۴         | ۰٫۰۶         | ۰٫۰۲                    | ۷۹٫۵ |
| D-۱     | ۶۸٫۱                    | ۲۸٫۱         | ۰٫۰۳           | ۱٫۲۲         | n.d.         | ۰٫۳۶         | n.d.         | n.d.                    | ۹۲٫۸ |
| D-۱     | ۶۹٫۵                    | ۲۸٫۷         | ۰٫۰۱           | ۱٫۲۶         | ۰٫۰۱         | ۰٫۲۸         | ۰٫۰۱         | ۰٫۰۲                    | ۹۲٫۸ |
| B       | ۶۶٫۵                    | ۲۹٫۹         | ۰٫۰۳           | ۰٫۰۱         | n.d.         | ۰٫۰۸         | ۰٫۰۷         | ۰٫۰۲                    | ۹۹٫۹ |
| B       | ۶۷٫۷                    | ۳۰٫۱         | ۰٫۰۱           | ۰٫۱۸         | n.d.         | ۰٫۰۲         | n.d.         | ۰٫۰۲                    | ۹۹   |
| C-north | ۶۹٫۵                    | ۲۷٫۱         | ۰٫۰۹           | ۲٫۳۹         | ۰٫۰۱         | ۰٫۰۵         | n.d.         | n.d.                    | ۸۶٫۴ |
| C-north | ۶۹                      | ۲۷٫۲         | ۰٫۰۱           | ۲٫۱۴         | n.d.         | ۰٫۰۳         | n.d.         | ۰٫۰۲                    | ۸۷٫۷ |

## نتیجه گیری

کانسار سنگ آهن سنگان خراسان به لحاظ بالا بودن عیار آهن و میزان ذخیره آن و پایین بودن میزان گوگرد و فسفر، از جمله ذخایر مهم آهن اسکارنی ایران و دنیا محسوب می شود. محلولهای ماگمایی غنی از آهن همراه با توده های کوارتز، مونزونیت و گرانیت پورفیری (در بخش A' رخنمون شده اند). در سنگهای کربناته ژوراسیک فوقانی - کرتاسه تحتانی به طریق دگرنهادی تشکیل ذخیره مگنتیت داده است. در بخش A' بنابه دلایلی، وجود آندرادیت، هدنبرگیت و برخورد مگنتیت با توده های نفوذی موید تشکیل مگنتیت در دمای بیش از  $400^{\circ}\text{C}$  است. دمای تشکیل توده های مگنتیت A، B، C و بخش جنوبی C در مناطق سطحی بر اساس پاراژنز کانی سازی و ترکیب شیمیایی کلریت حدود  $300^{\circ}\text{C}$  است. بخش های با دمای کمتر از  $400^{\circ}\text{C}$  بخش A' به دلیل فرسایش حذف شده اند. وجود آمفیبول غنی از کالر در بخش A' مؤید حمل آهن به صورت کمپلکس کالر می تواند باشد.

## مراجع

- 1 - Kermani, A., and Forster (1991) *Petrography , Mineralogy and geochemical investigation of the Sangan iron ore deposits, Northeastern Third Mining Symposium, Iran, P.559-578.*

[۲] کریم پور، محمد حسن، بررسی منشأ و چگونگی تشکیل کانسار آهن سنگان

خراسان، سمینار سنگ آهن، دانشکده فنی دانشگاه تهران، بهمن ۶۹.

- 3- Cathelineau, M., and Nieva, D.(1985) A chlorite solid solution geothermometer : the Los Azufres (Mexico) geothermal system, *Cont. Mineral. Petrol. gi* , P. 235-244.

[۴] عابدی، علیرضا، ۱۳۶۸، ژنز کانسار آهن سنگان خراسان، پایان نامه دوره

کارشناسی دانشگاه فردوسی مشهد.