۱-۱- مقدمه

فسفر به علت کاربرد وسیع در صنایع مختلف از جمله صنایع نظامی و کشاورزی و اهمیت آن در تهیه کودهای فسفاته، همواره مورد توجه بوده و از منابع معدنی مهم برای هر کشور به حساب می‌آید. از این لحاظ پی‌جویی و اکتشاف این عنصر مورد توجه زمین‌شناسان بوده و از جمله برنامه‌های اکتشافی مهم برای کشورها از جمله کشورهای توسعه یافته و یا در حال توسعه می‌باشد.بر این اساس و با توجه به نیاز مبرم کشورمان به تامین این ماده معدنی برای بخش‌های مختلف کشاورزی،صنعتی و نظامی همواره طرح‌های مختلف پی‌جویی و اکتشافی برای این ماده حیاتی پیاده شده است.طرح حاضر نیز از جمله طرح‌های موجود در این زمینه است.

۱-۲- فسفر

نام فسفر (Phosphorus) از واژه یونانی (Bringer of light) یا نام قدیمی سیاره ونوس گرفته شده است.فسفر دهمین عنصر فراوان در پوسته زمین است که در حدود ۰/۱۳درصد پوسته زمین را می‌سازد.

فسفر عنصری است جامد به رنگ سفید، نقره‌ای و یا بی رنگ و به صورت پودری به رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای با نمادP . عدد اتمی فسفر ۱۵، وزن اتمی آن ۳۰/۹۷۳ و وزن مخصوص آن ۱/۸۲ گرم بر سانتی متر مکعب است .فسفر نرم وچرب بوده و در ۲۸۰ درجه سانتیگراد می جوشد ودر ٤٤/۳ درجه سانتی گراد ذوب می شود.فسفر در گروه ۵ اصلی (VA) جدول تناوبی به عنوان غیرفلز(Nonmetals) بوده و در دوره سوم قرار دارد.یون P^{+5} به همراه اکسیژن یک گروه یونی تترائدرال $(PO_4)^{-3}$ را تشکیل می‌دهد و در تمام کانی‌های فسفاته کمپلکس آنیونی $(PO_4)^{-3}$ به عنوان واحد اصلی وجود دارد.

فسفر یک عنصر ضروری در زندگی موجودات است که به صورت کانی یا به شکل آلی در ساختمان سلولی موجود زنده وارد می‌شود اما در بافت استخوان‌ها عموماً به صورت کانی وجود دارد. فسفر بیشتر به صورت فسفات کلسیم در بافت‌های استخوانی شرکت می‌نماید و حدود ۲/۵-۲ درصد آن نیز به صورت فسفات‌منیزیم است. مهمترین شکل فسفر آلی، اسیدهای نوکلئیک هستند که به صورت ژن وکروموزوم ظاهر می‌گردند و اساسی‌ترین شکل آنها DNA و RNA می‌باشند. این اسیدها ۹/۵ درصد فسفر با حدود ۲۲ درصد P_2O_5 دارند.

در سال ۱۸٤۰ میلادی بعد از اینکه لابیگ تئوری خود را درمورد جذب فسفر توسط گیاهان ارائه کرد، ناگهان تقاضا برای استخوان جهت تولید کودهای فسفاتی افزایش یافت. با انجام کاوشهای زمین شناسی، در

فرانسه و انگلستان ذخیره‌هایی از سنگهای فسفاتی با عیار پایین کشف شد.ولی توسعه در صنعت فسفات با کشف یک ذخیره رسوبی فسفات عیار بالا درکارولینای جنوبی در آمریکا رونق زیادی یافت.این ذخیره دوباره در سال ۱۸۵۹ میلادی مورد بررسی و مطالعه دقیق زمین شناسی قرار گرفت و حفاری در سال ۱۸۶۷ میلادی در آن آغاز گردید.در سال ۱۸۹۹ این معدن به تنهایی ۹۰ درصد از نیازدنیا به سنگ فسفات را تأمین می‌کرد . تولید آمونیوم فسفات حاصل از واکنش آمونیاک با اسید فسفریک درسال ۱۹۱۷ میلادی در آمریکا شروع شد.درادامه با تولید آمونیوم فسفات، درآلمان با روش کریستاله کردن آمونیوم فسفات، کودهای فسفاتی با کارآیی بیشتری تولید شدند.از سال ۱۸۹۰ میلادی، با جداسازی سولفیت کلسیم از محلول سوپرفسفات و استفاده از اسید فسفریک ، تولید سوپر فسفات غلیظ شروع شد. و درسال ۱۹۲۰میلادی با استفاده از اسید نیتریک به جای اسید سولفوریک پروسه نیتروفسفات شکل گرفت.این پروسه در سال ۱۹۳۰ میلادی به صورت یک روش نوین توسط کمپانیهای نورسک و هیدرو و دی.اس.ام (DSM) هلند و چند کمپانی دیگر به دنیا ارائه گردید و بالاخره در اروپا، تولید کلسیم سیلیکون فسفات به عنوان یک محصول فرعی در صنایع فولاد جهت کود فسفاتی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین از فسفر موجود در سنگ آهن در نهایت برای تولید کودهای فسفاتی استفاده شد.

همان طور که ملاحظه می‌گردد نیاز زیست گاه کره زمین به عنصر فسفر بسیار زیاد می‌باشد و این درحالی است که پراکندگی فسفر درزمین بسیار ناچیز است.جدول۱-٤ میانگین درصد وزنی فسفر در چندنوع سنگ در روی زمین را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱- میانگین درصد وزنی فسفر و P_2O_5 در روی زمین

نوع سنگ	میانگین درصد وزنی فسفر	میانگین درصد P_2O_5
سنگ‌های فوق قلیایی	۰.۰۵	-
سنگ‌های قلیایی	۰.۱۵	۰.۲
سنگ‌های حدواسط	۰.۱۵	-
گرانودیوریت	۰.۱۱	-
گرانیت	۰.۰۶	-
سایر سنگ‌های گرانیتی	۰.۰۱	۰.۲
سنگ‌های رسوبی	۰.۰۷-۰.۰٤	۰.۱۷

۱-۳- کانی‌های فسفات

کانیهای گروه فسفات را به دو گروه اصلی به نام زیر گروه آپاتیتی و زیر گروه غیر آپاتیتی تقسیم می‌کنند.کانی‌های زیرگروه آپاتیتی نیز به دو بخش آپاتیت‌های اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند.درسنگهای ماگماتیک و همچنین در فسفات‌های رسوبی عمومی ترین و فراوان ترین کانی فسفات، فلوئور آپاتیت است.

کانی‌های گروه فسفات عبارتند از :

الف)کانی های آپاتیتی

کانی‌های این گروه به دو بخش آپاتیت‌های اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند و شامل کانی‌های آپاتیت $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$ و کلروآپاتیت $Ca_{10}(PO_4)_6Cl_{12}$ و هیدروکسی آپاتیت $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ می‌باشند.

ب) کانی های غیرآپاتیتی

این کانی‌ها از هوازدگی نهشته‌های فسفات کلسیم، گوانو و دیاژنز در رسوبات دریاچه‌ای و رودخانه‌ای ایجاد می‌شوند.

از کانی‌های غیرآپاتیتی می‌توان به واولیت $5H_2O$, $Al_3(PO_4)_2(OH)_3$ و آتونیت با فرمول $Ca(UO_2)(PO_4)_2,10\text{-}12H_2O$ و مونازیت $(Ce, La, Y, Th)(PO_4)$ اشاره نمود.

آپاتیت:

نام کانی آپاتیت (Apatite) از واژه یونانی (Apatein) به معنی گول خوردن یا فریفته شدن گرفته شده است و علت انتخاب این نام برای این کانی شباهت آن با بریل یا تورمالین است که با توجه به وجود منشور شش ضلعی و سختی کمتر از این دو کانی تمیز داده می‌شود.

آپاتیت (فسفات تری کلسیک کلردار یا فلوئور دار) با فرمول $Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl)$ فسفات آهکی موجود در سنگ‌های آذرین است که به رنگ سفید مایل به زرد، قهوه ای، سبز و گاهی سیاه دیده می‌شود.این کانی عموماً با ناخالصی اکسیدآهن، سیلیس، کربنات کلسیم و رس همراه است.سیستم تبلور آپاتیت هگزاگونال و بی‌پیرامیدال می‌باشد.فرم کریستالی آن به صورت شش ضلعی منشوری و یا سوزنی وگاهی هم منشوری کوتاه است.این کانی دارای سختی ۵ بوده و به وسیله چاقو خط بر می‌دارد.وزن مخصوص آن ۳/۱۵ تا ۳/۲۰ و گاهی تا ۳/۲۲ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌رسد و دارای جلای شیشه‌ای و نیمه صمغی است.آپاتیت معمولاً سبز یا

قهوه‌ای، گاهی آبی، بنفش یا بی‌رنگ یا نیمه شفاف است.آپاتیت در اشعه X وماوراءِ بنفش، دارای خاصیت فسفرسانس می‌گردد و درمقابل حرارت به سختی ذوب می‌گردد. رنگ شعله این کانی آبی مایل به سبز است و در اسیدهای کلریدریک، سولفوریک و نیتریک حل می‌شود.

گاهی فسفات آهکی به صورت لایه‌ای و حاصل تجمع بقایای مهره داران به ویژه استخوان‌های جانوران و قسمتهایی از بقایای بی مهرگان می‌باشد.فسفات آهکی دارای تمرکزهای بالایی از عناصر اورانیوم، فلوئورین و وانادیم است.این ترکیبات همراه با ماد استون‌های غنی از مواد ارگانیکی که منشأ بالقوه مواد هیدروکربوری هستند، تشکیل می‌شود و در محیط‌های دریایی به عنوان مواد غذایی اولیه بوده و لذا رشد و تولید مواد ارگانیکی را کنترل می‌نماید.به این ترتیب در اقیانوس‌ها میکروارگانیزم ها، فسفات حل شده یا ارتوفسفات را مورد استفاده قرار می‌دهند و این عمل در سطح بالای آب ، در حین رشد فیتوپلانکتون‌ها رخ می‌دهد.تمرکز فسفات در آب‌های ساحلی مانند مصب رودخانه‌ها که بالای آبهای سطحی هستند و همچنین حوضه‌های غیر موازی اتفاق می‌افتد.

کانی آپاتیت درسنگهای آذرین نظیر نفلین سینیت ودر پگماتیت‌های قلیائی به وجود می‌آید.همچنین در رگه‌های کنتاکت متاسوماتیک، هیدروترمال و پنوماتولیتی به صورت پاراژنز با کانی‌های زیادی از جمله کانی‌های نفلین، اسفن، زیرکن ذکرشده است. به علاوه درسنگهای رسوبی نیز در اثر تخریب آهکهای فسفات دار به وجود می‌آید.این کانی به صورت پلاسر نیز گزارش شده است.ترکیب و ساختمان فلوئورآپاتیت $Ca_5(PO_4)F_3$ از همه کانی‌های آپاتیت فراوانتر است.کلرور آپاتیت $Ca_5(PO_4)_3Cl$ و هیدروکسیل آپاتیت $Ca_5(PO_4)_3OH$ کمتر دیده می‌شوند.فلوئور و کلرور عامل هیدورکسیل می‌توانند جانشین یکدیگر شده و سری کاملی را به وجود آورند.همچنین گروه (PO_4) می‌تواند به وسیله (SO_4) و یا (SiO_4) جانشین گردیده و کربنات یا سیلیکات آپاتیت را پدید آورد.

فلوئورآپاتیت کربناته $Ca_{10}(PO_4, CO_3)_6F2-3$:

فرانکولیت با فرمول $Ca_5(PO_4 , CO_3)_3(F ,OH)$ با بیش از یک درصد فلوئورین و کربنات به صورت تیره و انیزوتروپ می‌باشد.

داهیلیت:

یک هیدروکسی آپاتیت کربناته با کمتر از یک درصد فلوئور به صورت تیره و انیزوتروپ می‌باشد.

فسفریت:

کانی‌های فسفات داری که دراثر رسوبات به وجود آمده اند به فسفریت معروفاند.کلوفان $Ca_3P_2O_8.2H_2O$ به نوع مخفی بلور و توده‌های آپاتیت که بخش عمده سنگ های فسفاتی واستخوان‌های فسیلی را می‌سازد، اطلاق می‌گردد.مطالعات اشعه X نشان می‌دهد که ویژگی مشخصی برای مجزا کردن کلوفان از آپاتیت وجود ندارد و فقط ظاهر فیزیکی متفاوتی دارند.

مونازیت:

نام مونازیت از واژه یونانی به معنای «در انزوا بودن» گرفته شده و کنایه ازکمیاب بودن آن است.بلورهای مونازیت کمیاب و بسیار کوچک‌اند. سیستم تبلور آن مونوکلینیک بوده و درمقاطع میکروسکوپی و در نور طبیعی بی رنگ است.مونازیت با فرمو ل $[(Ce, La, Y, Th) PO_4]$ دارای برجستگی زیاد، بی رفرنژانس بالا و تقریباً شبیه اسفن است.سختی آن ۵ تا ۵/۵ و وزن مخصوص آن ٤/۶ تا ٤/۵ گرم بر سانتیمترمکعب است.دارای جلای صمغی و به رنگ زرد تا قهوه‌ای مایل به قرمز و نیمه شفاف دیده می‌شود.مونازیت، پرتو زا بوده و نمونه‌های بزرگ آن نیز از زیرکن به واسطه فرم بلوری و سختی کمتر و از تیتانیت به واسطه فرم بلوری و وزن مخصوص بیشتر قابل تشخیص است.این کانی دراسید کلریدریک حل شده و دراثرحرارت دادن با اسید سولفوریک غلیظ تجزیه می‌گردد.کانی مونازیت به عنوان کانی فرعی در گرانیت ها، گنیس ها، آپلیت‌ها و پگماتیت‌ها و به صورت دانه‌های میله‌ای در ماسه‌های حاصل از تخریب سنگهای فوق به صورت پلاسر دیده می‌شود که علت آن مقاومت زیاد درمقابل فرسایش می‌باشد.

پیرومورفیت:

نام پیرومورفیت از دو واژه پیرو(Pyro) به معنای آتش و مورف (Morph) به معنای شکل ،گرفته شده و کنایه از شکل ظاهری بلورهای آن است. پیرومورفیت با فرمول $Pb_5(PO_4)_3Cl$ دارای سختی ۳/۵-٤، وزن مخصوص ۷/۰٤ گرم بر سانتیمترمکعب، جلای صمغی تا الماسی و به رنگ سبز، قهوه ای، زرد رنگ است وگاهی نارنجی،خاکستری، و سفید می‌باشد.این کانی توسط فرم بلوری، جلای درخشان و وزن مخصوص زیادش

مشخص می‌گردد.چنانچه به تنهایی در روی زغال حرارت داده شود گلوله‌ای تولید می‌کند که در وقت سرد شدن فرم بلوری پدید می‌آورد.بلورهای پیرومورفیت معمولاً منشوری با انتهای مسطح دیده می‌شوند که انتهای آنها به ندرت هرمی می‌باشد.

آمبلی گونیت:

نام کانی آمبلی گونیت از دو واژه یونانی به معنای عدم وجود زاویه گرفته شده و کنایه از زاویه بین کلیواژهای آن است.آمبلی گونیت با فرمول $LiAlF(PO_4)$ دارای سختی ۶، وزن مخصوص ۳ تا ۳/۱ گرم بر سانتیمترمکعب، رنگ سفید تا آبی کمرنگ یا سبز کمرنگ و به ندرت زردرنگ است و در اسیدها غیر قابل حل می‌باشد.این کانی در سیستم تری‌کلینیک متبلور می‌شود، بلورهای آن کمیاب و هم اندازه بوده و اگر درشت باشند زبر وخشن هستند.گاهی در ترکیب آمبلی گونیت OH جانشین F شده و احتمالاً سری کاملی را پدیدمی‌آورد.هرگاه مقدار OH بیشتر از F باشد به نام کانی مونت براسیت (Montebrasite)خوانده می‌شود.چنانچه قطعاتی از طریق کلیواژ (100) جدا شود، ممکن است با فلدسپار اشتباه شوند.ولی با زاویه کلیواژ و رنگ شعله می‌توان آنها را از هم تشخیص داد.

کانی‌های لازولیت و اسکورزالیت:

کانی‌های لازولیت با فرمول $(Mg,Fe)Al_2(PO_4)_2(OH)_2$ و اسکورزالیت $Al_2(PO_4)_2(OH)_2$ دارای سختی ۵/۵، وزن مخصوص ۳ تا ۳/۱ گرم بر سانتیمترمکعب، جلای شیشه‌ای و به رنگ آبی می‌باشند.این کانی‌ها درسیستم مونوکلینیک متبلور شده برجستگی آنها نسبتا زیاد بوده و بی رفرنژانس بالایی دارند.بلورهای آنها به ندرت منشورهای زاویه دار می‌سازند و معمولاً توده ای، دانه‌ای و یا فشرده هستند.

سایر کانی‌های فسفات:

میلیسیت:

با فرمول $(Na\text{-}K)(CaAl_6PO_4)_4(OH) \cdot 3H_2O$

کراندالیت:

با فرمول $Ca_2 Al_6 (PO_4)_4 (OH)_{10} .2H_2O$

اوژلیت:

با فرمول $Al_2 (PO_4) (OH)_3$

واولیت:

با فرمول $Al_3(PO_4)_2 (OH)_3 5H_2O$

تورکواز یا فیروزه:

با فرمول $CuAl_6 (PO_4)_4 (OH)_8 4H_2O$

ترکیب شیمیایی کانیهای فوق به شدت متغییر است زیرا این قبیل کانی‌ها در برگیرنده فلوئور و مقادیری استرانسیم، باریم و یا آهن هستند. سه کانی اول از همه فراوانترند اما واولیت و تورکواز کمیاب می‌باشند.

از میان کانی‌های فسفاتی کانی‌های فلوئور آپاتیت و مونازیت و آمبلی‌گونیت، لازولیت و به ندرت کلروآپاتیت و هیدروکسی آپاتیت در سنگ‌های آذرین وجود داشته و کانی‌های کربنات فلوئور آپاتیت یا فرانکولیت، میلیسیت، پالیت (نوع آهن‌دار میلیسیت با مقدار کمی سدیم)، کراندالیت، اوژلیت، و به ندرت واولیت و تورکواز در سنگ‌های رسوبی یافت می‌شوند. واولیت در نهشته‌های رودخانه‌ای و دریاچه‌ای یافت می‌گردد.کراندالیت یا فسفاتهای آهن و آلومینیم تحت نام مشترک بارانديت در سنگ‌های سیلیسی وجود دارند.وکانی‌های لازولیت و اسکورزالیت مختص پگماتیت‌های دگرگونی غنی از کوارتز هستند.

هوازدگی نهشته‌های فسفات کلسیم و گوانو و دیاژنز در رسوبات دریاچه‌ای و رودخانه‌ای، عامل تکامل کانی‌های غیر آپاتیتی در سازندهای رسوبی است.آلتراسیون لاتریتی نهشته‌های فوق به ایجاد کانیهای فسفاتی آلومینیوم‌دار منتهی می‌گردد که موجب ایجاد کانی‌های میلیسیت، پالیت، کراندالیت، اوژلیت، واولیت و تورکواز می‌شود.

۱-۴- انواع نهشته‌های فسفاتی

سه نوع اصلی ذخایر فسفات اولیه به ترتیب اهمیت عبارتند از فسفریت‌های رسوبی، آپاتیت‌های آذرین و گوانو. رسوبات ثانویه سنگ‌های فسفاتی ممکن است حاصل از گوانو یا ذخایر اولیه فسفات رسوبی باشند که در اثر هوازدگی اسیدی، انحلال و فرسایش و رسوب مجدد به وجود می‌آیند.

الف) فسفریت رسوبی:

حجم این گونه نهشته‌ها عموماً بسیار زیاد است به طوری که ذخایر آنها متجاوز از میلیارد تن است و از نظر زمانی عمدتا مربوط به دوره‌های زیر می‌باشند:

- پروتروزوئیک پایانی ـ کامبرین آغازی
- پرمین پایانی
- کرتاسه پایانی ـ ائوسن آغازی
- میوسن

نهشته‌های فسفات رسوبی لایه‌ای بوده و مناطق وسیعی را می‌پوشانند. مساحت این مناطق غالباً بالغ بر هزاران کیلومتر است. دانه‌های فسفاتی عموماً پلتی بوده و کانی تشکیل دهنده آن ها فرانکولیت می‌باشد. ذخایر فسفات رسوبی عمدتا پرعیار و همان‌طور که در بالا ذکر گردید با کمیت قابل توجه در دوره‌های محدودی از تاریخ زمین تکوین یافته‌اند. تحقیقات نشان می‌دهد که ذخایر فسفات در امتداد عرض‌های جغرافیایی دیرینه ٤٠ درجه و عرض‌های مجاور در آبهای کم‌عمق در امتداد حاشیه فلات قاره و یا نواحی مجاور عمیق‌تر ته‌نشین شده‌اند و از نظر ساختمانی این ماده معدنی در حوضه‌های رسوبی گسترده و کم‌عمق و پایدار از لحاظ تکتونیکی که در ارتباط با جریانات اقیانوسی بوده و میزان رسوبگذاری مواد تخریبی در آنها حداقل است تشکیل می‌گردد.

بخش عمده فسفات های رسوبی شناخته شده در حاشیه فلات قاره در مناطق مرتبط با جریانات اقیانوسی و در زمان حداقل ته‌نشینی مواد آواری تشکیل شده‌اند.به علاوه این ذخایر در تله‌های رسوبگذاری وسیع و کم‌عمق که به وسیله ساخت‌های محلی و یا بلندی‌های توپوگرافی کنترل می‌شوند، تکوین یافته‌اند.پراکندگی این نهشته ها را در کشورهای مختلف از لحاظ سنی می‌توان به این شرح بیان نمود:

ذخایر پرکامبرین در هند، کره، جمهوری‌های شوروی سابق، برزیل و چین،

کامبرین در استرالیا، چین، جمهوری‌های شوروی سابق و ویتنام،

اردوویسین در آمریکا، شوروی سابق ،

ژوراسیک ـ کرتاسه آغازی در جمهوری‌های شوروی سابق ،

کرتاسه فوقانی ـ ائوسن در موروکو، سنگال، توگو، تونس، الجزایر، فلسطین، سوریه، اردن، عـراق، عربسـتان سعودی ،مصر

و بالاخره میوسن در آمریکا، مکزیک و پرو.

جدول (۱-۲)ویژگی‌های بارز این نوع نهشته‌ها را به طور مختصر نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲- ویژگی‌های بارز فسفات‌های رسوبی

۱- اندازه بزرگ	ذخایر ممکن است شامل حجمی در حد بیلیون تن و یا حتی صد بیلیون تن باشند.
۲- مربوط به زمان‌های خاص	عمده این ذخایر مربوط به زمان‌های پروتروزوئیک پایانی تا کامبرین آغازی، پرمین فوقانی، کرتاسه فوقانی تا ائوسن آغازی و میوسن می‌باشند.
۳- پالئوژئوگرافی	فسفات در گذشته و حال در عرض‌های جغرافیایی پایین تشکیل می‌شود. همچنین در آبهای کم عمق در حاشیه قاره و یا در آبهای عمیق تر مجاور حاشیه قاره (میوژئوسنکلینال) تشکیل می‌شود.
٤- ساختار	ذخایر در محیط‌های پایدار تکتونیکی و در حوضه‌های کم‌عمق که جریان‌های اقیانوسی به آنها راه دارند و رسوبات آواری آنها حداقل است تشکیل می‌شوند.
۵- شکل	ذخایر به صورت لایه‌ای بوده و منطقه وسیعی تا هزاران کیلومتر مربع را دربر می‌گیرند. دانه‌های فسفاتی به صورت پلت بوده و کانی اصلی آن فلوئورآپاتیت کربناتی یا فرانکولیت می‌باشد.

ب) آپاتیت‌های آذرین:

ذخایر اقتصادی فسفات آذرین به صورت توده‌هـای نفـوذی و یـا رگـه‌هـای هیـدروترمال و یـا بـه صـورت نهشته‌های حاصل از تفریق سنگ‌های آذرین آلکالن مانند ایژولیت، نفلین سینیت، پیروکسنیت و کربناتیت تشکیل یافته‌اند. این توده‌های نفوذی به شکل حلقوی و یا بیضوی دیده می‌شوند.

کانی تشکیل دهنده فسفات آذرین اغلب هیدروکسی فلوئور آپاتیت اسـت.کانیهـای همـراه بـا آپاتیـت غالبـاً شامل ورمیکولیت، آناتاز، پیروکلر و عناصر خاکهای نادر هستند که به عنوان محصولات جانبی و با ارزش همـراه با آپاتیت مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. ذخایر آپاتیت کربناتیتی در امتداد ریفت‌ها تشکیل می‌شوند.

در کانسار آهن ـ آپاتیت اسفوردی مقادیر قابل توجهی از عناصر خاکی نادر وجود دارد. مثال‌های این نوع فسفات را در هند، سریلانکا، آفریقای جنوبی(پرکامبرین)،جمهوری‌های شوروی سابق (کربنیفر ـ پرمین)، برزیل(کرتاسه) می‌توان یافت.جدول(۱-۳)ویژگی‌های عمده این نوع ذخایر را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۳- ویژگی‌های فسفات‌های آذرین

۱- نوع سنگ	ـ ایژولیت ـ اورتیت(نفلین، اژیرین، آپاتیت، اسفن، فلدسپار) ـ فوسکوریت (آپاتیت ـ اولیوین یا آپاتیت ـ الیوین ـ مگنتیت) ـ پیروکسن‌های غنی از آپاتیت ـ کربناتیت ـ رگه‌های آپاتیت ـ مگنتیت ـ کانه‌های آهن با فسفر بالا
۲- شکل	به صورت توده‌های نفوذی و پلاگ همراه با نفوذی‌های آلکالی. توده‌ها به شکل تخم‌مرغی یا کروی و یا با لبه‌های پرشیب می‌باشند. نفوذی‌های کربناتیتی ممکن است با ساختارهای دره‌ای - ریفتی همراه باشند.
۳- کانی‌شناسی	کانی فسفات یک هیدروکسی فلوئورآپاتیت می‌باشد که به فلوئورآپاتیت کربناتی آلتره می‌شود و با کانی‌های ورمیکولیت، آناتاز، پیروکلر و کانی‌های عناصر نادرخاکی همراه است که ممکن است به صورت دایک‌های حلقوی در کربناتیت‌ها تشکیل شوند.

ج) گوانو:

نهشته‌های گوانو حاصل مدفوع پرندگان دریایی و خفاشها می‌باشند.این نهشته‌ها عموماً از لحاظ کمی کوچک‌اند. نحوه تشکیل گوانو به این صورت است که فسفر موجود درآب دریا و در امتداد سواحلی که پدیده فوران درآنها جریان دارد به وسیله موجودات میکروسکوپی جذب می‌گردد.فسفر جذب شده توسط این موجودات براثر تغذیه پرندگان، خفاشها و پستانداران موجود در اطراف این مناطق وارد سیستم بیولوژیکی آنها گشته و با مدفوع آنها به صورت گلوله‌ای و یا پلت دفع و در اثر انباشتگی منجر به تکوین گوانو می‌گردد.

این ذخایر از نظر زمانی در هولوسن تشکیل شده اند و در پرو ذخایر اقتصادی را به وجود آورده‌اند.جدول(۱-٤) بیان کننده ویژگی های بارز این نوع از ذخایر فسفات می‌باشد:

جدول ۱-٤- ویژگی‌های فسفات‌های گوانو

۱- ذخایر جزیره‌ای *	در اثر جانشینی حاصل از گوانو به جای کربنات تشکیل می‌شود و یا از هوازدگی سنگ‌های آتشفشانی به وجود می‌آید.
۲- ذخایر غاری	در اثر جانشینی کربنات به فرم آپاتیت به وجود می‌آید.
۳- ذخایر ثانویه	ذخایر آلومینیوم فسفات در اثر هوازدگی لاتریتی فسفات‌های دریایی و یا در اثر جانشینی کربنات به وسیله هوازدگی ذخایر قبلی آپاتیت به وجود می‌آید.

* همه این ذخایر بجز ذخایر جزیره‌ای حجم بسیار کوچکی دارند و برای اکتشاف پیشنهاد نمی‌شوند.

د) سایر انواع ذخایر:

نهشته‌های فسفاتی ثانویه براثر عمل لیچینگ فسفریت‌ها حاصل می‌شوند .که ممکن است بر اثر عمل هوازدگی لاتریتی آپاتیت اولیه و یا جانشینی فسفر محلول در سنگ‌های آهکی حاصل شود. این نهشته‌ها از لحاظ حجم کوچک بوده و ارزش اقتصادی لازم را ندارند: در جدول (۱-۵)ویژگی‌های مهم این نوع نهشته‌ها به طور خلاصه ذکر گردیده است.

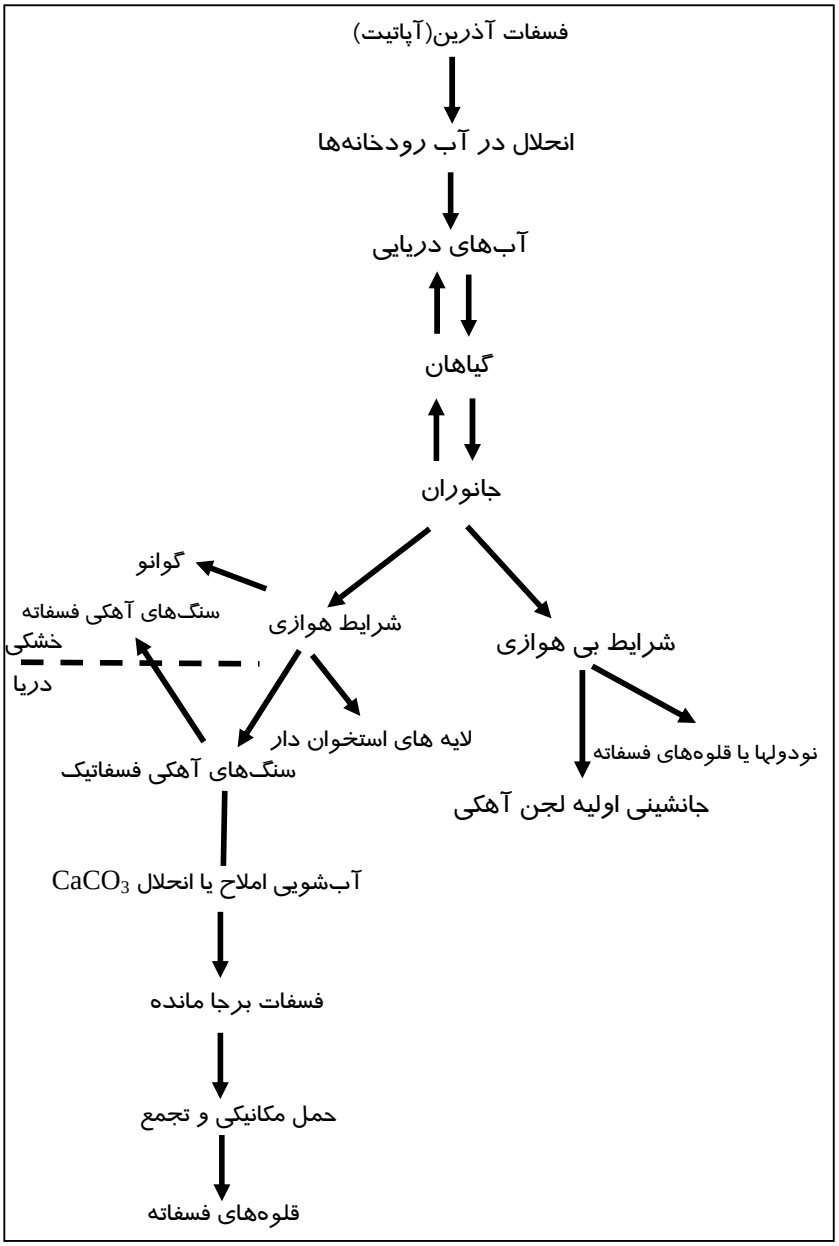
جدول ۱-۵- سایر انواع ذخایر

۱- ذخایر پلت‌فرمی	به صورت کوچک یا عدسی در نبودهای مقاطع استراتیگرافی به وجود می‌آید و فسفات به صورت کابل در شیل یا آهک است. میزان آن در واحد حجم کم است و شامل گراول و یا تمرکزهای رودخانه‌ای است.
۲- ذخایر نودولی در برآمدگی‌های دریایی	
۳- ذخایر فسفریتی استروماتولیتی	

در مجموع می‌توان گفت که تمامی ذخایر فسفاته مرتبط با یکدیگر بوده و تنها در اثر چرخه‌های زیستی موجود انواع مختلف آن‌ها به وجود می‌آیند.فسفات های آذرین را می‌توان مادر سایر انواع فسفات ها دانست که این چرخه باعث تغییرات در آن شده و به این ترتیب سایر انواع ذخایر فسفات به وجود می‌آید.تصویر (۱-۱) تصویر ساده ای از چرخه فسفر در طبیعت است.

۱-۵- رسوب‌گذاری فسفات‌ها

با توجه به اهمیت فسفات‌های رسوبی ،برای شناخت این فسفات ها می بایست نخست فرایندهای مرتبط با رسوب گذاری این نوع فسفات ها را بررسی کرد.بر این اساس نخست ویژگی های رسوب گذاری این ذخایر بیان می گردد.



تصویر ۱-۱- چرخه فسفر و مراحل تشکیل انواع رسوبات فسفاته [۱۲]

۱-۵-۱- ویژگی‌های رسوب‌گذاری فسفات

مهمترین ویژگی‌های رسوب‌گذاری فسفات به این شرح می‌باشد :

۱- ذخایر فسفات عمدتاً از فسفر منابع اقیانوسی توسط جریانات بالارونده تغذیه می‌شوند. این نوع تامین فسفر مستلزم ارتباط خوبی بین محیط رسوبی و دریای باز می‌باشد.

۲- فسفر حمل شده توسط جریانات بالارونده سبب افزایش رشد و نمو مقادیر زیادی از پلانکتون‌ها می‌شودکه به نوبه خود سبب غنی‌شدگی رسوبات آلی در لایه حداقل اکسیژن حوضه می‌شوند. از این رو آب منفذی، فسفر بسیار بیشتری نسبت به آب دریای اطراف دارا می‌باشد.

۳- کانی‌های فسفات از آب منفذی در مجاورت سطح مشترک آب - رسوب و در حواشی به ویژه مرز بالایی لایه حداقل اکسیژن رسوب می‌کنند. این محیط که اندکی اکسیدان است، پایداری ترکیبات هومیک حاصل ازمواد آلی‌پلانکتونی را افزایش می‌دهد. اسیدهای هومیک نقش مستقیمی در رسوب‌گذاری فسفات و تشکیل ذرات فسفات دارند.

٤- رسوب‌گذاری فسفات به طورکلی یک پدیده کند است که برای آن، دوره‌ها یا نواحی با رسوب‌گذاری سریع نامناسب می‌باشند. این پدیده نیازمند یک محیط زمین‌شناسی بسیار پایدار می‌باشد.

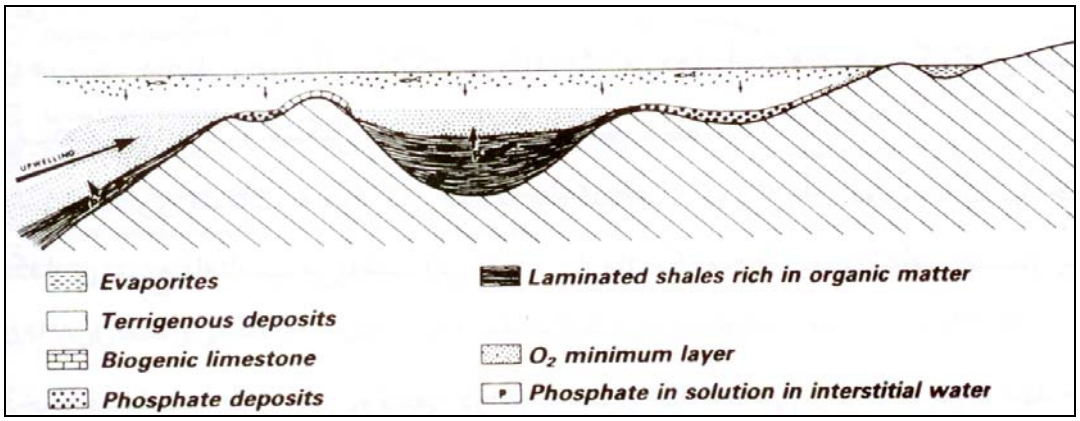
۵- ذخایر فسفات به طور خیلی وسیعی درطول ستون چینه‌شناسی از پرکامبرین تا عهد حاضر گسترده شده‌اند، اما برخی دوره‌های خاص وجود دارند که به نظر می‌رسد در ارتباط با فازهای افزایش دمای آب دریا هستند، دراین دوره‌ها آب دریاها بالا آمده و به طور وسیعی برروی فلات‌های قاره‌ای گسترده می‌شوند، در همین زمان پلانکتون‌ها بسیار متنوع و فراوان هستند و لایه حداقل اکسیژن ضخیم‌تر شده و به تشکیل تجمعات غنی از مواد آلی کمک می‌نماید.

ایجاد یک محیط فقیر از اکسیژن سبب تشکیل شیل‌های لامینه یا شیل‌های سیاه می‌شود که عمدتاً رسی - مارنی و چرتی و در انتها اندکی تبخیری می‌شود. در اکثر قسمت‌های با اکسیژن بالا در داخل حوضه، رخساره‌های ارگانوژنیک آهکی یا سیلیسی توسعه می‌یابند. ذخایر فسفات یک موقعیت حد واسط بین این دو رخساره را اشغال می‌کنند و به مقدار کم یا زیاد تحت تاثیر آنها قرار می‌گیرد.

۶- نواحی مناسب جهت رسوب‌گذاری فسفات در مقیاس بزرگ آنهایی هستند که در آنها جریانات بالارونده خیلی مؤثر می‌باشند. یک پیش‌شرط ظاهراً مهم، عرض جغرافیایی می‌باشد که دانش امروزی ما پیشنهاد می‌کند که باید کمتر از ٤٠ درجه باشد. همچنین در این نواحی، رسوبات ارگانیکی ضخیم در یک محیط احیاکننده که در داخل آنها فسفر به صورت پویا باقی می‌ماند، بالاست.

۷- تشکیل یک تجمع فسفاتی غنی جهت ایجاد یک ذخیره کانسنگی ، مستلزم ته‌نشست رسوبات در محیط کم‌عمق و حضور یک تله جهت تجمع و تکامل مواد آلی می‌باشد. ابعاد ذخیره کانسنگی حاصله، به ابعاد این تله بستگی دارد.تصویر (۱-۲) طرح شماتیکی از شرایط تشکیل فسفات های رسوبی با توجه به ویژگی‌های ذکر شده را نشان می‌دهد.

۸- هوازدگی سطحی ذخایر فسفات اغلب منجر به غنی‌شدگی طبیعی آنها می‌شود. با وجود این، هوازدگی شدید ممکن است منجر به تشکیل آلومینیوم فسفریت‌ها شود. تغییر و تکامل ثانویه این ذخایر نیز ممکن است منجر به غنی‌شدگی آنها از اورانیوم شود.



تصویر ۱-۲- طرح شماتیک محیط‌های رسوب گذاری فسفات [۱۰]

۱-۵-۲- مدل‌های رسوب‌گذاری فسفات

مدل سازی ذخایر رسوبی و نحوه ته نشست آن‌ها می‌تواند کمک شایانی در اکتشاف این ذخایر نماید.هرچند مدل‌های بسیاری را می‌توان برای رسوب‌گذاری فسفات در نظر گرفت اما موارد زیر را می‌توان در مورد بسیاری از ذخایر فسفات رسوبی تعمیم داد.

۱- ممکن است فسفات در طول سواحل غربی قاره‌ها در حاشیه کم‌عمق در جایی که انشعابات جریانات اقیانوسی موجب غنی شدن این آب‌ها از فسفات شوند تشکیل شود. انواع سنگ‌های دربرگیرنده شامل شیل‌های سیاه، چرت و سنگ‌های غنی از مواد ارگانیکی هستند. مانند سازند فسفریا به سن پرمین در غرب ایالات متحده، ذخایر میوسن در پرو و سنگ‌های معادل آنها از نظر زمانی در مکزیک.

۲- ممکن است فسفات در حاشیه‌های کم‌عمق شرقی به وجود آید. این ذخایر در نیمکره شمالی در سمت جنوبی حاشیه شرقی ـ غربی قاره و در نیمکره جنوبی در سمت شمال این خط تشکیل می‌شوند. جریان‌های رو به بالای اقیانوسی موجب غنی شدن آب‌های خنثی از فسفات می‌شوند. سنگ‌های دربردارنده فسفات در این مدل نیز مشابه مدل قبلی است. مثال: ذخایر کرتاسه - ائوسن در آفریقای شمالی و مدیترانه هم چنین بازشدگی و حرکت به سمت غرب در طول ساحل شمالی قاره گندوانا احتمالاً موجب ایجاد ذخایر کرتاسه در برزیل و ونزوئلا و کلمبیا در آمریکای جنوبی شده است.

۳- فسفات در سواحل شرقی در حاشیه‌های کم‌عمق می‌تواند تشکیل شود. فسفات در این حالت حاصل مخلوط شدن آب‌های سطحی گرم در اثر حرکت رو به بالای جریان‌های کف اقیانوس یا جریان‌های سرد منشاگرفته از قطب است. انواع سنگ‌های در برگیرنده شامل رس‌های غنی از منیزیم، دولومیت و شاید مواد گلاکونیتی و دیاتومیتی باشد. مثال اصلی آن ایالت فسفوژنیک میوسن در ساحل اقیانوس اطلس در ایالات متحده است.

٤- ذخایر فسفاتی پروتروزوئیک مربوط به استروماتولیت‌ها که فقط در هند شناخته شده‌اند. اما ممکن است نمونه‌های مشابه در جاهای دیگر داشته باشد.

۵- ذخایر فسفاتی و پلت‌فرم‌های کم‌عمق که به صورت کوچک و عدسی شکل می‌باشند و در نبود رسوبگذاری تشکیل شده و شامل گرانول‌ها می‌باشند. ذخایر فسفاتی نودولی در شیل و سنگ آهک پراکنده‌اند و معمولاً به صورت چندین لایه فسفاتی متوالی می‌باشند. دانه‌های فسفاتی در مقایسه با زمینه بسیار بزرگ هستند. این ذخایر اقتصادی نمی‌باشند مگر اینکه به طور مستقیم در همان محل امکان استفاده از آنها موجود باشد. هرچند ممکن است این ذخایر تناژ بالایی داشته باشند اما توزیع فسفات در واحد سطح در آنها کم است مثال‌های بسیاری از این مورد در جهان وجود دارد اما این موارد به دلیل اندازه و تناژ کم در واحد سطح مورد توجه قرار نگرفته‌اند.

۶- ذخایر فسفات نودولی تشکیل شده در برآمدگی‌های دریا، درمناطق زیردریایی بالا آمده، که مثال‌های فراوانی از آن وجود دراد که مشهورترین آن در نیوزیلند و در جنوب شرق ایالات متحده است.

۱-۶- زمین‌شناسی اقتصادی فسفات

آنچه که یک ذخیره فسفات را اقتصادی می‌نماید میزان ذخیره و درصد P_2O_5 می‌باشد. اما عواملی مانند جایگاه زمین‌شناسی، موقعیت جغرافیایی، پتانسیل کاربردی، دسترسی به سایر مواد خام، ویژگی‌های فیزیکی ذخیره و سایر ترکیبات شیمیایی مواد فسفاتی نیز در آن مؤثرند.

پتانسیل کاربرد عامل مهمی است. برای مثال: ذخیره‌ای که فرآوری آن نیازمند آزمایش‌های گران شیمیایی است باید ذخیره زیاد و عیار نسبتاً بالایی داشته باشد تا اقتصادی شود. اما ممکن است یک ذخیره کوچک با تناژ کم سالانه به دلیل کاربرد مستقیم (بدون فرآوری) اقتصادی باشد.

محتویات شیمیایی به جز P_2O_5 اهمیت زیادی دارند. آهن، آلومینیوم، منیزیم و کلسیم عناصر مزاحم اصلی در تولید فسفات می‌باشند. مقدار این عناصر باید در محصول نهایی همیشه کمتر از حداکثر قابل قبول برای آنها باشد. علاوه بر آن مقدار کلرین به دلیل تأثیرات مخرب آن بر گیاهان باید کمتر از یک در میلیون باشد.

مقدار کم عناصری مثل Cu, Ti, Zn, Fe, Mn, Mo در فسفات به رشد گیاهان کمک می‌کند اما مقدار کم عناصری مثل V, Se, Hg, As, Cr, Pb, Cd ممکن است خطرناک و یا سمی باشد. جایگاه زمین‌شناسی عامل تعیین کننده روش معدنکاری است. یک ذخیره با لایه‌بندی مسطح و سخت نشده در عمق کم را می‌توان با تجهیزات بزرگ و روش ارزان استخراج نمود در حالی که یک ذخیره سخت شده با ساختمان پیچیده فقط با روش‌های گران زیرزمینی قابل استخراج است.

موقعیت جغرافیایی و فاصله تا مراکز فروش مهمترین عامل است. یک ذخیره نسبتاً غنی اگر در ناحیه بسیار دوردستی قرار داشته باشدکه وسایل ترانزیت در آن فراهم نباشد غیراقتصادی خواهد شد. در حالی که یک ذخیره با عیار پایین به دلیل قرار داشتن در موقعیت جغرافیایی مناسب اقتصادی می‌شود.

۱-۷- اکتشاف فسفات

ذخایر عظیم کشف شده در ۲۰ سال گذشته در کشورهای مختلف ثابت می‌کنند که هنوز امکان کشف تجمعات اقتصادی فسفات وجود دارد. اما اکتشاف این ذخایر به تدریج دشوار خواهد شد. لذا تجهیزات اکتشافی

باید تصحیح شده و ذخایر موجود شامل آنهایی که در حواشی قاره‌ای قرار دارند باید از نزدیک مورد مطالعه قرار گیرند تا ایده مشخص‌تری در مورد عوامل پالئوژئوگرافیکی و رسوب‌شناختی مناسب جهت تشکیل فسفریت به دست آید. در این زمینه مواد آلی و ارگانیسم‌ها از جمله باکتری‌ها نیازمند مطالعه دقیق می‌باشند.

افزایش مصرف جهانی نیز ایجاب می‌کند که کانسنگ‌های با کیفیت پایین‌تر نیز مورد استخراج قرار گیرند. بعلاوه بهره‌برداری از کانسنگ‌ها به ویژه انواع با گانگ کربناتی که بخش بزرگی از منابع فسفات شناسایی شده را شامل می‌شوند به طور فزاینده‌ای مورد اهمیت قرار گرفته است. لذا سعی می‌شود که پتانسیل اقتصادی کانسنگ‌ها از طریق استخراج محصولات جانبی (فلوئور، اورانیوم، خاک‌های نادر، وانادیم و ...) و حذف عناصری چون کادمیم بهبود بخشیده شود.کادمیم که مقدار آن در کنسانتره‌های فسفات تجاری با منشأ رسوبی از کمتر از ۱۰ *ppm* تا ۸۰-۹۰ *ppm* متغییر است می‌تواند از طریق کودها سبب آلودگی خاک شود و یا در هنگام تخلیه فسفوژیپس موجب آلودگی آب شود.

مطالعه روش‌های رسوب‌گذاری فسفات برای پی‌جویی ذخایر فسفات بسیار کاربرد دارند. برای مثال آب دریا در دمای کم و فشار بالا دیرتر از P_2O_3 اشباع می‌شود. بنابراین آب های سرد (آب‌های عمیق یا قطبی) فسفات بیشتری نسبت به آب‌های گرم سطحی دارند. ذخایر اصلی فسفات در جزئیات با یکدیگر متفاوتند. اما مواردی در همه آنها وجود دارد که می‌توان براساس آن این مدل‌ها را تفکیک نمود.

پالئوژئوگرافی و اقیانوس‌شناسی نیزاز ابزارهای مهم اکتشاف فسفات می‌باشند زیرا همان طور که بیان شد فسفات در گذشته بین عرض‌های جغرافیائی ٤٠ درجه رسوب نموده‌است. بنابراین ذخایر اصلی در حاشیه قاره‌ای تشکیل شده‌اند که به جریان‌های اقیانوسی راه داشته‌اند و میزان ورود مواد آواری در آنها حداقل بوده است. بعلاوه فسفریت‌های اصلی در حوضه‌های کم‌عمق که توسط ساختمان‌های محلی یا بلندی‌های توپوگرافی کنترل می‌شده‌اند رسوب کرده‌اند. کانی فسفاتی کانی فلوئورآپاتیت کربناتی (فرانکولیت) می‌باشد که در شیل‌های تیره، چرت و سنگ‌های کربناتی غنی از مواد ارگانیکی تشکیل می‌شود. فسفریت‌های اصلی به صورت لایه‌ای می‌باشند که نشان می‌دهد حوضه از نظر تکتونیکی مدت نسبتاً طولانی حالت پایدار داشته است. چرت، مواد دیاتومیتی، شیل‌های سیاه و سنگ‌های کربناتی ارگانیکی مجموعه‌هایی هستند که وجود آنها همراه با فسفریت‌ها عادی است و از روی وجود این مجموعه‌ها می‌توان برای مشخص نمودن نواحی اکتشافی استفاده

نمود. در این مجموعه ها دانه‌های فسفاتی معمولاً به صورت پلت یا نـودول بـوده و کـانی فسـفات، فرانکولیـت می‌باشد.

مدل‌های تشکیل فسفات برای انتخاب نواحی که در آنها ذخایر بـا ارزش فسـفاتی تشـکیل شـده بسـیار کـاربرد دارند. اما این مدل‌ها فقط محدود به نواحی با وسعت چند هزار و یا حتی چند ده هزار کیلومتر مربع مـی‌باشـند و اگر در ناحیه‌ای یک رخنمون کوچک و یا هیچ رخنمونی وجود نداشه باشد تعیین محل ذخیره بسیار مشـکل خواهـد بود. در این حالت حفاری روشی موثر اما روش بسـیار گرانـی اسـت. فسـفریت‌هـای دریـایی کـه حـاوی اورانیـوم می‌باشند در نواحی‌ای که با یک لایه نازک (معمولاً کمتر از یک متـر) پوشـیده شـده باشـند بـا روش‌هـای هـوایی می‌توانند اکتشاف شوند. هم چنین لاگ‌های اشعه گاما در گمانه‌ها (برای مثال چاه‌هـای آب) نیـز مـی‌تواننـد مفیـد واقع شوند.بیشترذخایر بزرگ درکارولینای شمالی در ایالات متحده با روش گاما در چاه‌های آب کشف شده‌انـد و حفاری فقط پس از مشخص شدن محل ذخیره برای تعیین ویژگی‌های شیمیایی ذخیره انجام شده است.

رودخانه‌های اسیدی که از میان ذخایر فسفاتی عبور می‌کنند نیز مقادیری اورانیوم را با خود حمل مـی‌کننـد. آزمایش آب رودخانه ممکن است وجود ذخیره اقتصادی را نشان دهد. اورانیوم آب‌های رودخانـه فلوریـدا در اطراف همه ذخایر اصلی آنومالی بالایی داشته است.

هوازدگی لایه‌های فسفات توسط رودخانه‌ها ممکن است موجب تمرکز دانه‌های فسفاتی (نودول و کابل) بـه واسطه چگالی بیشتر آنها شود. نودول‌ها در طول رودخانه بارگذاری می‌شوند که می‌تـوان از روی کـاوش‌هـای هوایی رادیواکتیوی آنها را در جریان‌های کم آب رودخانه شناسایی نمود.

از مثال‌های اصلی ذخایر پبلی رودخانه می توان ، به ذخایر موجود در طول جریان‌های اصلی فلوریدا، جورجیا و کارولینای جنوبی در ایالات متحده اشاره نمود. با این حال شاید بتوان اکتشاف فسفات را به صورت زیر خلاصـه کرد و برنامه‌های اکتشافی را بر این اساس قرار داد:

۱-۷-۱- روش‌های اکتشاف فسفات

اکتشاف فسفات در سه مرحله متوالی انجام می‌شود.

۱- تعیین دوره‌های زمین‌شناسی مناسب جهت رسوبگذاری فسفات

۲- تعیین زون‌های مناسب جهت تجمع ذخایر فسفات

۳- مطالعه تفصیلی این زون‌ها

۱-۷-۱-۱- تعیین دوره‌های زمین‌شناسی مناسب جهت رسوبگذاری فسفات

دوره‌های زمین‌شناسی مناسب ممکن است به طور مستقیم از سن ذخایر یا ترادف‌های فسفاتی شناخته شده در نواحی تحت اکتشاف، نواحی مجاور آنها در حال حاضر یا در طی دوره مورد نظر که در نتیجه جابجایی نسبی قاره‌ها در طی تاریخ زمین‌شناسی از هم دور شده‌اند، مشخص شوند. می‌توان از روی ویژگی‌های پالئوژئوگرافیکی و رسوب‌شناختی ذخایر فسفات به همراه جستجوی فسفات در روی زمین یا در بین نمونه‌های جمع‌آوری شده آنها را به دست آورد.

درمقیاس ماکروسکوپی سنگ‌های فسفات همیشه به آسانی قابل تشخیص نیستند. کاربرد یک معرف مولیبدنیوم می‌تواند تشخیص فسفات را آسانتر کند. مقداری اسید نیتریک رقیق بر روی سنگ ریخته و بر روی آن مولیبدات آلومینیوم اضافه می‌کنند. در صورت وجود فسفات کلسیم، رسوب زرد رنگی تشکیل می‌شود. این آزمایش کیفی بسیار حساس است اما مزیت آن این است که خیلی سریع می‌باشد.

اما با استفاده از یک آزمایش نیمه کمی که توسط شاپیرو (Shapiro) طراحی شده است می‌توان نمونه را جهت ارسال به آزمایشگاه انتخاب نمود. در این آزمایش تیوپ‌های رنگی موجود را با رنگ فسفووانادومولیبدات به دست آمده از طریق افزودن محلولی از اسیدهای نیتریک و سولفوریک و آمونیوم مولیبدات به مقدار معینی از نمونه مقایسه می‌کنند. این روش نیازمند دقت بالا می‌باشد تا نتایج آن معرف و تکرارپذیر باشند.

سنگ‌های فسفاتی اغلب می‌توانند بر اساس رادیواکتیویته بالاتر نسبت به سنگ‌های همراهشان شناسایی شوند. سینتیلومترهای قابل حمل جدید که فضای خیلی کمی اشغال می‌کنند به طور وسیعی برای اکتشاف فسفات به کار می‌روند.

با وجود این باید توجه داشت که برخی از لایه‌های فسفاتی حتی انواع بسیار مهم نسبت به سنگ‌های در بر گیرنده‌شان چندان رادیواکتیویته نیستند، مانند سیستم دونین ایران. از سینتیلومتر می‌توان برای اکتشاف فسفات در برونزدها، چاه‌ها و حفاری‌ها استفاده کرد. لاگ‌های اشعه گاما در همه موارد آشکارسازهای بسیار خوبی هستند.

آزمایش‌های اکتشاف هوایی فسفات توسط سینتیلومتر توسط هواپیما یا هلی‌کوپتر نیز در کشورهای مختلف انجام شده و نتایج حاصل از آنها نشان داده‌اند که تنها لایه‌های فسفاتی دارای برونزد توسط این روش شناسایی می‌شوند. به طوری که پوششی به ضخامت کمتر از یک متر کافیست تا اثرات رادیواکتیو را بپوشاند. همچنین ممکن است اثرات رادیواکتیو غیرعادی توسط سازندهای غیر فسفاتی ایجاد شوند مانند مارن‌های غنی از مواد آلی و یا لاتریت. لزوم پرواز در ارتفاع کمتر از ۱۰۰ متر به موازات سطح زمین نیز سبب بروز مشکلاتی در مناطق ناهموار می‌شود.

در مناطق بدون برونزد می‌توان از روش اکتشافی ژئوشیمیایی استفاده کرد. آنومالی‌های ژئوشیمیایی این امکان را فراهم می‌کنند که بتوان لایه‌های فسفاتی را با دقت در زیر خاک‌های پوشاننده آنها ردیابی کرد.

اما این آنومالی‌ها در کل، یک ایده صحیح از غنای لایه‌های زیرین ارائه نمی‌دهند. این روش در زمین‌های کشاورزی که در آنها کودهای فسفاتی به کار می‌روند با مشکل مواجه می‌شود.

۱-۷-۱-۲- تشخیص زون‌های مناسب

ذخایر می‌توانند مستقیماً توسط جستجوی رخنمون‌های فسفاتی شناسایی شوند. اما این روش به مجموعه‌ای از شرایط مناسب بستگی دارد. به عنوان مثال در حوضه‌های رسوبی فسفاتی یافت شده در سنگال، ناحیه‌ای که در آن احتمال یافتن رخنمون‌های فسفات وجود دارد خیلی دورتر از ناحیه پوشیده شده توسط یک ذخیره اقتصادی است. لذا در اغلب موارد این آثار نقطه اتکایی برای استدلالات رسوب شناختی پالئوژئوگرافیکی در زمینه تشخیص واحدهای چینه‌ای جدید هستند. پس از اینکه واحدهای سنگی انتخاب شدند، انتخاب زون‌های مناسب اساساً یک مسأله پالئوژئوگرافیکی است که در مرحله اول شامل تعیین نواحی فاقد ورود مواد آواری قابل ملاحظه می‌باشد که نشانگر رسوب‌گذاری دریایی کم عمق است و ممکن است دارای قله‌های تجمعی باشد. نقشه‌های پالئوژئوگرافیکی که تغییرات ضخامت رخساره‌ها را در نواحی تحت اکتشاف نشان می‌دهند ابزارهای رایج برای این مرحله هستند. با وجود این در طبقه‌بندی زون‌های انتخاب شده به این طریق، باید معیارهای اقتصادی را نیز در نظر گرفت.

۱-۷-۱-۳- مطالعه تفصیلی زون‌های مناسب

مرحله سوم شامل تحقیق و تجسس سیستماتیک جهت استخراج می‌باشد که خود شامل چندین مرحله است. مرحله اول تعیین معیارهای اقتصادی به ویژه حداقل سطح مناسب منابع و حداکثر عمق ذخیره جهت استخراج

می‌باشد.در این مرحله می‌توان در مورد فاصله‌بندی کارهای اکتشافی و نوع تجهیزات حفاری لازم جهت مرحله دوم، یعنی تعیین مرز زون یا زون‌های احتمالی حاوی کانسار تصمیم‌گیری کرد.

مراحل بعدی وجود ذخایر کانسنگی را تأیید و به صورت سیستماتیک خصوصیات آنها را مشخص خواهند کرد.

مرحله نهایی شامل مطالعه اقتصادی است که اساساً بر روی امکان تولید یک کنسانتره تجاری قابل حمل در فواصل طولانی یعنی با محتوای فسفات بالا تمرکز دارد.

۱-۸- منابع فسفات در جهان

منابع اصلی فسفات در جهان از ذخایر فسفات دریایی و آپاتیت آذرین و گوانو تأمین می‌شود. فسفریت‌های دریایی حدود ۸۰ درصد از نیاز جهانی را برآورده می‌کند و گوانوحدود ۲ درصد از مجموع فسفات مصرفی را شامل می‌شود. منابع شناخته شده سنگ فسفات ۸۷ بیلیون تن هستند در حالی که منابع پیش‌بینی شده حدود دو برابر آن می‌باشد. توزیع جهانی فسفات یکنواخت نیست اما در ۱۹۸۵ حدود ۸۵ درصد (تولید سنگ فسفات در ۱۹۸۵ حدود ۱۵۰ میلیون تن بوده است) آن توسط کشورهای شمال آفریقا، جمهوری‌های شوروی سابق و ایالات متحده آمریکا بوده است.

ذخایر فسفات رسوبی به طور وسیعی در میان واحدهای چینه‌شناسی پراکنده‌اند و ذخایر و تمرکزات فسفات درتمامی سیستم‌های زمین شناسی شناخته شده‌اند.

از پرکامبرین تا کامبرین چهار دوره برای رسوب‌گذاری فسفات شناسایی شده‌اند. عمده این ذخایر در استرالیا، آمریکا، هند و سیبری، چین، برزیل، نیجر،بنین ،سنگال می‌باشند. از نظر زمانی می‌توان تقسیم بندی زیر را ارایه نمود:

کامبرین: استرالیا، سیبری، چین، ویتنام

اردوویسین: آمریکا، استونی، فرانسه، آرژانتین

سیلورین: هیچ ذخیره اقتصادی با سن سیلورین یافت نشده است.

دونین: ذخایر کانسنگی کمی از آن شناخته شده است. اما ذخایری در سیبری، آمریکا، فرانسه و انگلستان وجود دارد. به نظر می‌رسد بهترین تشکیلات فسفاتی دونین در ایران در رشته‌کوههای البرز و ایران مرکزی وجود دارد.

کربنیفر: آلمان، لهستان و آمریکا

پرمین: آمریکا و هند

تریاس: عمدتا از نظر فسفات فقیر است، آلاسکا ، لیبی

ژوراسیک: فرانسه، یونان، شمال شرق سیبری، مسکو، غرب کانادا، آرژانتین

کرتاسه فوقانی و ائوسن: غنی از ذخایر فسفات در حوضه‌های ساحلی غربی و شمالی آفریقا، سراسر خاورمیانه، روسیه، یونان، فرانسه، برزیل، ونزوئلا و کلمبیا

الیگوسن: اصلاً وجود ندارد.

میوسن: منابع غنی آمریکا، مکزیک، ونزوئلا، پرو، گابون و سنگال

پلیوسن: ذخایر حاصل از حمل مجدد درنامیبیا و پرو

۱-۹- منابع فسفات در خاورمیانه

تمام کشورهای این منطقه دارای فسفات هستند ولی منابع مهم در کشورهای اردن و عربستان سعودی و تا حدودی عراق و فلسطین متمرکزند. براساس برآوردهای موجود، میزان این منابع در حدود ۱۲ میلیارد تن با عیار ۲۰ درصد P_2O_5 می‌باشد. جدول (۱-۶) توزیع زمانی –مکانی ذخایر فسفات را در خاورمیانه نشان می‌دهد.

جدول ۱-۶- توزیع زمانی ـ مکانی منابع فسفات در خاورمیانه و ایران در سال ۱۳۸۳، [۹]

	دوره	کشور	میزان منابع (میلیون‌تن)	عیار متوسط (P_2O_5%)
توزیع مکانی		ایران	٤٠٠	۹/۵۲
		عراق	٤٠٥٠	۲۲
		عربستان سعودی	۳۶۰۰	۲۰
		سوریه	٤١٤	٤
		فلسطین	۱۰۰۰	۲۶
		اردن	١٥٤٧	۲۸
توزیع زمانی	دونین	ایران	١٤۶/۸۰	١٤/١١
	اردویسین	ایران	۱۰	۷
	کامبرین	ایران	۷۳	۹/۶
	پرکامبرین	ایران	۲۰ (آذرین)	١١/٥٢

۱-۱۰- منابع فسفات در ایران

در ایران نیاز به سنگ فسفات جهت تولید کودهای فسفاتی و دیگر فراورده‌های جانبی به طور قابل ملاحظه‌ای رو به افزایش است. جدول ۱-۷ میزان مصرف کودهای فسفاتی و دیگر فراورده‌های فسفری کشور و نیز کنسانتره سنگ فسفات مورد نیاز جهت تولید آنها را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۷ میزان مصرف کودهای فسفاتی و فراورده‌های جانبی درسال ۱۳۸۳، [۹]

نام فراورده	مقدار مورد نیاز	کنسانتره سنگ فسفات لازم
کودهای فسفاتی	۱٫۳۰۰٫۰۰۰	۲٫۱۰۰٫۰۰۰
تری پلی‌فسفات سدیم جهت پودرهای شوینده	۱۲۰٫۰۰۰	۲۷۰٫۰۰۰
فسفات دی‌کلسیم (خوراک دام و طیور)	۶۰٫۰۰۰	۱۰۰٫۰۰۰
اسید فسفریک برای مصارف صنعتی و خوراکی	۲۰٫۰۰۰	۷۵٫۰۰۰
جمع		۲٫۵۴۵٫۰۰۰

منابع و ذخایر فسفات شناخته شده ایران در دو گروه فسفات رسوبی و فسفات با منشأ آذرین جای می‌گیرند.

۱-۱۰-۱- منابع و ذخایر فسفات آذرین ایران

این منابع معمولاً در کمپلکس‌های آلکالن از قبیل سنگ‌های نفلین سینیتی، ایژولیتی، کربناتیتی، پیروکسنیت‌ها و غیره یافت می‌شوند. در حال حاضر تنها ذخایر شناخته شده با این منشأ ذخایر آپاتیت اسفوردی، زریگان و لکه سیاه می‌باشند که در بلوک بافت ـ پشت بادام در ایران مرکزی قرار دارند. میزان ذخایر سنگ فسفات آذرین کشور در حدود ۱۵ میلیون تن با عیار ۱۲ درصد برآورد شده و بهره‌برداری از آنها به طریقه روباز امکان‌پذیر است.سنگ فسفات با منشأ آذرین حتی با عیار پایین (در حدود ۳ درصد P_2O_5) می‌تواند به سهولت و با بکارگیری روش فلوتاسیون و با نسبت بازیافت بالا (در حدود ۹۰ درصد به بالا) کانه‌آرایی گردد.

- کانسار اسفوردی:

کانسار اسفوردی در یکی از برآمدگی‌های قدیمی واحد زمین‌ساختی ایران مرکزی قرار گرفته است. مجموعه سنگ‌های تشکیل دهنده کانسار آهن ـ آپاتیت اسفوردی دارای دو رخساره آهن آپاتیت‌دار و یک سنگ نفوذی با ترکیب تقریباً دیوریتی است که به شدت دگرسان شده و ساخت و بافت و ترکیب کانی‌شناسی اولیه

خود را از دست داده است. نوع کانی آپاتیت این کانسار، فلوئور آپاتیت است که به صورت بلورهای شکل دار و یا نیمه شکل دار با سطح بیرونی صاف و مدور به رنگ زرد نارنجی و به ندرت بی‌رنگ است. عناصر نادر خاکی به صورت ادخال‌های مونازیت در داخل آپاتیت تمرکز دارند. این عناصر حدود یک درصد کنسانتره مزبور را تشکیل می دهند. به طور کلی ذخیره زون معدنی ۸/۵ میلیون تن سنگ فسفات با عیار ۱۲ درصد P_2O_5 است.

- کانسار آپاتیت زریگان

محدوده کانسار زریگان جزیی از یک برآمدگی ساختاری قدیمی در ایران مرکزی است. در محدوده زریگان، آپاتیت در مجموعه سنگ‌های سبز (ریولیت‌ها و کوارتز پورفیری‌های دگرسان) به صورت عدسی با سطح گسترش محدود، برونزدهای پراکنده‌ای را تشکیل می‌دهد که در آنها بلورهای آپاتیت نسبتاً شکل دار و اغلب قطور وجود دارد. میزان ذخیره احتمالی کانسار در حدود ۵۱۱۰۰۰ تن سنگ فسفات با عیار متوسط ۳ درصد P_2O_5 برآورد شده است.

- کانسار آهن ـ آپاتیت لکه سیاه

این کانسار از چندین توده آهن پراکنده با مجموعه سنگ‌های رسوبی ـ آتشفشانی تشکیل شده است که توده‌های آهن نوع هماتیت تا منیتیت همراه با رگه‌ها و لکه‌های پراکنده آپاتیت در سراسر این محدوده دارای رخنمون هستند. عیار P_2O_5 در توده‌های مختلف متفاوت بوده و حدود ۵/۵ درصد می‌باشد.

علاوه بر اندیس‌های فوق ، اندیس‌های متعدد دیگری در بلوک پشت بادام ـ بافق وجود دارد که شامل اندیس‌های زیر می‌باشد: میشدوان ؛آپاتیت کریستالین توده‌ای در سنگ‌های دگرگون شده دولومیتی، کوارتزیت، شیست و سنگ‌های آذرین خروجی اسیدی با عیار ۶ درصد P_2O_5، اندیس سه چاهون ؛ آپاتیت کریستالین توده‌ای با عیار ۵/۵ درصد، اندیس چشمه فیروزی؛ آپاتیت کریستالین به صورت توده‌ای در داخل سنگ‌های دولومیتی.با عیار ۵ درصد و آنومالی‌های 13 B و 13 C با عیار ۷ تا ۱۲ درصد ، اندیس چاه گز؛ آپاتیت با دانه بندی منظم رگه‌ای و رگچه‌ای در ریولیت و سنگ‌های متاسوماتیک و سنگ‌های آذرین نفوذی قلیایی و سرپانتینیت و تالک با عیار حدود ٤/۵ درصد از آن جمله هستند. علاوه بر آن نشانه معدنی شکرآب (جنوب چادرملو) با آپاتیت کریستالین به صورت عدسی در داخل دولومیت‌های قهوه‌ای به همراه سنگ‌های ولکانیک اسیدی و

گزستان(شیطور)؛ با آپاتیت کریستالین به صورت رگه ،رگچه و پراکنده در سنگ سبز به همراه کوارتز، اکتینولیت، اپیدوت،کلریت.

همه اندیس‌های برشمرده فوق از نظر سنی مربوط به پروتروزوئیک ـ کامبرین می‌باشند.

در البرز نیز نشانه‌های معدنی فسفات‌های آذرین گزارش شده اند .نشانه های معدنی البرز به این شرح می‌باشند:

ـ به صورت آپاتیت کریستالین در دیوریت خانقاه سرخ با سن بعد از ژوراسیک و قبل از ترشیر.

ـ به صورت آپاتیت دانه ریز تا دانه درشت در دیوریت خانقاه سرخ – مسکین با سن بعد از ژوراسیک و قبل از ترشیر.

ـ در تراکیت و آندزیت شبه جزیره اسلامی به صورت توده‌ای ، که آپاتیت به صورت ادخال در پیروکسن‌ها قرار دارد.

ـ در دیوریت قره آغاج ارومیه با آپاتیت گرانولار و کریستالین.

ـ در متاولکانیک ،گرانیت و پگماتیت قره باغ با سن کرتاسه فوقانی به صورت پراکنده و متشکل از آپاتیت سوزنی.

ـ در گرانودیوریت گچی مربوط به بعد از ژوراسیک و قبل از ترشیر با بافت دانه متوسط تا درشت.

ـ در دیوریت-گابرو گل شین بعد از ژوراسیک- قبل از ائوسن با بافت دانه ریزو پگماتیتی.

ـ در داسیت و آندزیت نشق با سن ائوسن.

۱-۱۰-۲- کانسارهای فسفات رسوبی ایران:

فسفات‌های رسوبی ایران از نظر سنی به چهار گروه زیر تقسیم می‌شوند.

- فسفات پروتروزوئیک ـ کامبرین
- فسفات اردوویسین ـ سیلورین
- فسفات دونین فوقانی
- فسفات کرتاسه ـ ترشیاری

فسفات های فوق از نظر حوضه رسوبی در چهار زون ایران مرکزی،زاگرس،کپه داغ و البرز قرار دارند.

۱-۱۰-۲-۱- ایران مرکزی:

فسفات‌های رسوبی در ایران مرکزی مربوط به سازندهای زیر می‌باشند:

ـ در کنگلومرای کرتاسه زیرین در سازند آمدوان که فسفات به صورت نودول در شیل‌های سیاه است.

ـ به صورت لایه‌ای در سازند دورود با سن پرمین زیرین و لیتولوژی متشکل از کوارتزیت.

ـ به صورت لایه‌ای در سازند بهرام با سن دونین – کربنیفر و لیتولوژی متغییردر جاهای مختلف و بیشتر متشکل از ماسه سنگ آهکی.

ـ در سازند شیشتو با سن دونین فوقانی و لیتولوژی شیل و آهک.

ـ در سازند جیرود با سن دونین فوقانی و لیتولوژی متغییردر جاهای مختلف و متشکل از ماسه آهکی و دولومیت ،شیل و ماسه سنگ و کوارتزیت به صورت فسفات لایه ای.

ـ شیرگشت با سن اردوویسین و متشکل از شیل،کوارتزیت،ماسه سنگ و ماسه سیلتی با فسفات لایه‌ای و عدسی، لیتولوژی در جاهای مختلف متغییراست.

ـ به صورت لایه‌ای در دولومیت‌های قهوه‌ای و شیل پرکامبرین.

۱-۱۰-۲-۲- زاگرس:

فسفات‌های زاگرس همگی از نوع رسوبی بوده و در سازندهای گورپی و پابده و میلا قرار دارند.

ـ در سازند پابده با سن ائوسن با لیتولوژی آهک رسی، ماسه سنگ، مارن،آهک مارنی و فسفات گلوکونیتی، واحدهای شیل و مارن ،ماسه سنگ گلوکونیتی به صورت لایه‌ای و نواری و یا عدسی متشکل از فسفات دانه‌ای و نودولی ،پلت،االیت و یا پبل یا قطعات ماهی و االیت‌های درشت بوده و در محلی دیگرفسفات به صورت آپاتیت آواری و یا به صورت ریز دانه است.

ـ در قاعده سازند گورپی با سن کرتاسه فوقانی در ماسه سنگ‌های گلوکونیتی و آهک به صورت لایه‌ای متشکل از پلت، االیت، گرهک ،پبل و نودول است.

ـ در سازند میلا با سن اردوویسین متشکل از پلت و نودول به صورت لایه‌ای در ماسه سنگ و شیل و آهک‌های دولومیتی.

۱-۱۰-۲-۳- کپه داغ:

فسفات‌های کپه داغ نیز فقط از نوع رسوبی می‌باشند.و در سازندهای زیر قرار دارند:

- در حفاری‌های نفت آثاری از فسفات در سازند شیلی خانگیران گزارش شد که با مطالعات بعدی غیراقتصادی تشخیص داده شد.

ـ در کرتاسه بالایی در سازند اتامیر در ماسه سنگ‌های آهکی و گلوکونیتی به صورت لایه‌ای و متشکل از قطعات شکسته آپاتیت.

۱-۱۰-۲-٤- البرز:

اندیس‌های فسفات در زون البرز به این شرح می‌باشند:

ـ در سازند مراغه در رس و مارن به صورت لایه‌ای در میوسن فوقانی.

ـ در سازندجیرود با سن دونین فوقانی در شیل و ماسه سنگ ،ماسه سنگ سیلیسی به صورت عدسی و لایه‌ای و متشکل از نودول، پلت و بایوکلست و کنکراسیون.

ـ در سازند خوش ییلاق با سن دونین فوقانی در آهک ماسه‌ای گلوکونیت دار به صورت لایه ای.

ـ در سازند باروت در سنگ آهک دولومیتی و شیل به صورت لایه ای.

در سازند سلطانیه با سن کامبرین زیرین درسنگ آهک و دولومیت و شیل ،آهک دولومیتی و به صورت لایه‌ای و عدسی متشکل از پلت و نودول،بایوکلست و اینتراکلست و استروماتولیت.