دانشگاه زنجان

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

شماره: ۲۹۲۷۹

تاریخ: ۹۰/۸/۱۰

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی‌عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

خانم: **محبوبه خرم‌نژاد** رشته: **شیمی** گرایش: **تجزیه**

تحت عنوان: **بررسی نانو ذرات مغناطیسی در جداسازی / پیش تغلیظ و / یا حذف برخی مواد آلاینده زیست محیطی**

در تاریخ ۹۰/۷/۱۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه زنجان برگزارگردید و نظر هیأت داوران بشرح زیر می‌باشد:

قبول(با درجه :عالی امتیاز: ۱۹/۲) دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱- عالی(۲۰-۱۸)
۲- بسیار خوب(۱۷/۹۹- ۱۶)
۳- خوب(۱۵/۹۹- ۱۴)
۴- قابل قبول(۱۳/۹۹- ۱۲)

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر ناصر دلالی	دانشیار	
۲- استاد مشاور	دکتر محمد فرجی	دکترا	
۳- استاد ممتحن خارج از دانشگاه	دکتر بهزاد حقیقی	استاد	
۴- استاد ممتحن داخل دانشگاه	دکتر محمدحسین رسولی‌فرد	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات‌تکمیلی	دکتر نادر نوشیران‌زاده	استادیار	

دکتر حبیب امیری
معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی
دانشکده علوم

دکتر محمدحسین شهیر
مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه

دانشکده علوم - گروه شیمی

پایان‌نامه جهت دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد شیمی
در گرایش تجزیه(MSc)

بررسی نانو ذرات مغناطیسی در جداسازی/ پیش تغلیظ و/ یا حذف برخی مواد آلاینده زیست محیطی

استاد راهنما:
دکتر ناصر دلالی

استاد مشاور:
دکتر محمد فرجی

مولف:
محبوبه خرم نژاد

پاییز۹۰

تقدیم به ...

پدرم، که بودنش تاج افتخاری است بر سرم و نامش دلیلی است بر بودنم؛

مادرم، چراکه وجودش پس از پروردگار مایه هستی ام بوده است

تشکر و قدردانی

کلام را آغاز می کنم با ستایش حضرت دوست، و او را شکر و سپاس می گویم که هر چه بر سر ما رفته است و می رود، همه از عنایت اوست.

بر خود لازم می دانم از زحمات استاد گرانقدر جناب آقای دکتر دلالی که در طول تحصیل اینجانب با پشتیبانی های علمی، معنوی و حمایت های بی دریغ شان مرا در پیمودن این راه یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

از جناب آقای دکتر محمد فرجی به خاطر محبت ها و راهنمایی های بی دریغ شان بی نهایت سپاس گزارم.

همچنین از همیاری و همفکری دوستان خوبم خانم مینا حبیبی زاده و آقایان فریدون رحمانی، هادی حبیبی و همراهی بهترین دوستانم الهه نصیری، زهرا خالقی، سلاله فرنیا، ، خدیجه محمودنیا و مهکامه یوسف خانی کمال تشکر را دارم.

چکیده

این پروژه از دو بخش تشکیل شده است: در بخش اول نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن به روش همرسوبی سنتز شده و کارایی این نانو ذرات به عنوان جاذب برای حذف رنگNyloset yellow از محلول های آبی مورد بررسی قرار گرفت.در این قسمت اثر پارامتر های موثرشامل pH، زماناستخراج، مقدار سورفکتانت CTAB و مقدار نمک بر روی حذف آنالیت مذکور به روش طراحی آزمایش بررسی شد. مقادیر بهینه به ترتیب pH=۱۰، ۱دقیقه، ۲۰ میلی گرم CTAB،صفر درصد نمک سدیم کلراید به دست آمد. نتایج نشان داد که از میان حلال های آلی آزمایش شده متانول بهترین بازده واجذب را دارد.مدل‌های سینیتیکی مختلفی بررسی شد و نتایج با معادله‌ی شبه مرتبه دو مطابقت داشتند. ماکزیمم ظرفیت جذب آنالیت توسط مدل.لانگمیر ۱۳۶ میلی گرم بر گرم به دست آمد.

در بخش دوم نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن با غلافی از سیلیس پوشیده شده وکارایی این جاذببرای حذف رنگ Crystal violetمورد بررسی قرار گرفت. در ادامه برای تعیین مهم ترین پارامتر های موثر بر حذف از طرح های غربالی استفاده شد. در میان پارامتر های بررسی شده (pH، زمان، مقدار سورفکتانت SDS، مقدار جاذب و قدرت یونی) مقدار سورفکتانت و قدرت یونی مهمترین پارامتر ها تعیین شدند. برای بهینه کردن این دو پارامتر از روش طراحی فاکتوریال سه سطحی استفاده شده و مقادیر ۲/۴۸۸ میلی گرم SDS و ۳/۰۹۱ درصد نمک سدیم کلراید گزارش شد.همچنین واجذب رنگ از سطح نانوذرات با استفاده از حلال های مختلف بررسی شد و بیشترین بازده واجذب برای اتانول به دست آمد. آنالیز داده های ایزوترم تعادلی نشان داد که برای این آنالیت مدل لانگمیر مطابقت بیشتری را با داده های تجربی دارد. سینتیک جذب این رنگ نیز به وسیله مدل سینتیکی شبه مرتبه دو به بهترین نحو توصیف شد.

کلمات کلیدی: نانو ذرات مغناطیسی، سورفکتانت، طرح های غربالی،CTAB، SDS.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه

۱-۱تاریخچه نانو تکنولوژی..... ۱

۱-۱-۱تاریخچه نانو ذرات..... ۲

۱-۲رفتار مغناطیسی مواد..... ۲

۱-۲-۱رفتار دیا مغناطیسی درمواد..... ۳

۱-۲-۲رفتار پارامغناطیسی درمواد..... ۳

۱-۲-۳ رفتار فرو مغناطیس در مواد..... ۴

۱-۲-۴ رفتار آنتی فرو مغناطیس در مواد..... ۴

۱-۲-۵ رفتار فری مغناطیس‌در مواد..... ۵

۱-۲-۶خواص مغناطیسی مواد نانو ساختار..... ۵

۱-۳روش های سنتز نانوذرات مغناطیسی..... ۷

۱-۳-۱سنتز در فاز مایع..... ۷

۱-۳-۱-۱روش همرسوبی..... ۷

۱-۳-۱-۲روش میکروامولسیون..... ۷

۱-۳-۱-۳ روش تجزیه گرمایی..... ۸

۱-۳-۱-۴روش هیدروترمال..... ۹

۱-۳-۱-۵ احیای شیمیایی..... ۹

۱-۳-۲سنتز در فاز گازی..... ۱۰

۱-۳-۲-۱روش ترسیب بخار شیمیایی..... ۱۰
۱-۴روش های حفاظت..... ۱۰
۱-۴-۱ پوشاننده های آلی..... ۱۱
۱-۴-۱-۱ پلیمرها..... ۱۱
۱-۴-۲پوشاننده های معدنی..... ۱۲
۱-۴-۲-۱ اکسید های فلزی..... ۱۲
۱-۴-۲-۲ سیلیس..... ۱۲
۱-۴-۲-۳ کربن..... ۱۴
۱-۵ روش های شناسایی نانو ذرات مغناطیسی..... ۱۴
۱-۵-۱ آنالیز میکروسکوپ الکترونی..... ۱۴
۱-۵-۱-۱میکروسکوپ الکترونی عبوری..... ۱۵
۱-۵-۱-۲ میکروسکوپ الکترونی روبشی..... ۱۵
۱-۵-۲ آنالیز عنصری وساختاری..... ۱۵
۱-۵-۲-۱ پراش پرتو ایکس..... ۱۵
۱-۵-۳ آنالیز پیوندی..... ۱۶
۱-۵-۳-۱ طیف سنجی مادون قرمز..... ۱۶
۱-۵-۴ بررسی خواص مغناطیسی..... ۱۶
۱-۶ پارامتر های سطحی..... ۱۸
۱-۶-۱ اندازه گیری بار سطحی نانو ذرات..... ۱۸
۱-۷ کاربرد نانو ذرات مغناطیسی..... ۱۸
۱-۷-۱ کاربردهای زیست محیطی..... ۱۸

۱-۷-۱-۱ کاربرد نانو ذرات برای استخراج مواد.....۱۸
۱-۷-۱-۲ کاربردنانوذراتدرحذفآلایندههایآلی.....۱۹
۱-۷-۲ کاربرد های کاتالیزگری.....۲۰
۱-۷-۳ کاربردهای صنعتی.....۲۱
۱-۷-۴ کاربردهاییبیولوژیکی.....۲۱
۱-۷-۴-۱ تصویر برداری رزونانسی مغناطیسی.....۲۲
۱-۸ انتخاب روش جداسازی.....۲۳
۱-۸-۱ استخراج فاز جامد.....۲۴
۱-۸-۱-۱ استفاده از نانو ذرات مغناطیسی در استخراج فاز جامد.....۲۵
۱-۹ حذف رنگ از نمونه های آبی.....۲۷
۱-۹-۱رنگNyloset yellow.....۲۸
۱-۹-۲ رنگ Crystal violet.....۲۸

فصل دوم: بخش تجربی

۲-۱ مواد شیمیایی و تجهیزات دستگاهی.....۲۹
۲-۲ روش تهیه بافرهای فسفات ۱/۰ مولار.....۳۰
۲-۳ روش سنتز نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن.....۳۰
۲-۴ روش سنتز نانو ذرات مگنتیت با غلاف سیلیس.....۳۱
۲-۵ روش حذف آنالیت.....۳۱
۲-۶ روش شویش آنالیت.....۳۲
۲-۷-روش بررسی ایزوترم جذب.....۳۲

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱ حذف آنالیت Nyloset yellow از محلول های آبی توسط نانو ذرات Fe_3O_4 ..... ۳۳

۳-۱-۱ بررسی نانو ذرات سنتز شده ۳۳

۳-۱-۲ بررسی شرایط استخراج ۳۵

۳-۱-۲-۱ روش های طراحی آزمایش ۳۵

۳-۱-۲-۲ بهینه سازی شرایط استخراج ۳۹

۳-۱-۲-۲-۱ اثر pH محلول ۴۰

۳-۱-۲-۲-۲ اثر مقدار سورفکتانت ۴۰

۳-۱-۲-۲-۳ اثر زمان استخراج ۴۰

۳-۱-۲-۲-۴ اثر قدرت یونی ۴۱

۳-۱-۲-۲-۵ اثر مقدار جاذب ۴۱

۳-۱-۲-۲-۶ اثر نوع شوینده ۴۲

۳-۱-۳ سینتیکجذبسطحی ۴۳

۳-۱-۴ ایزوترم جذب ۴۶

۳-۱-۵ استفاده مجدد از نانو ذرات اکسید آهن ۴۹

۳-۱-۶ بررسی نمونه پساب سنتزی ۴۹

۳-۲ حذف آنالیت Crystal violet از محلولهای آبی توسط نانوذرات Fe_3O_4/SiO_2 ..... ۵۱

۳-۲-۱ بررسی نانو ذرات Fe_3O_4/SiO_2 سنتز شده ۵۱

۳-۲-۱-۱ تعیین پارامترهای مهم مباطراحی غربالی ۵۵

۳-۲-۱-۲ بررسی اثر پارامترها ۵۷

۳-۲-۲ بهینهسازیپارامترهاباطراحیسطحپاسخ..... ۵۹
۳-۲-۲-۱ تحلیلدادهها..... ۶۰
۳-۲-۲-۲ بررسینمودارواریانسپیشبینیشده..... ۶۳
۳-۲-۲-۳ تعیین شرایط بهینه..... ۶۵
۳-۲-۳ اثرنوعشوینده..... ۶۶
۳-۲-۴ بررسیسینتیکجذب..... ۶۶
۳-۲-۵ ایزوترمجذب..... ۶۸
۳-۲-۶ استفاده مجدد از نانو ذرات اکسید آهن / سیلیس..... ۷۰
۳-۲-۷ بررسی نمونه پساب سنتزی..... ۷۰
نتیجه گیری..... ۷۱
پیشنهادات..... ۷۲
مراجع..... ۷۳

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ چند مورد از کاربرد ذرات مغناطیسی برای حذف ترکیبات آلی..... **۲۰**

جدول۳-۱ تعدادسطوحودامنهتغییرمتغیرهادرفضایآزمایش.....۳۸

جدول۳-۲جدولطراحیآزمایشبرایبهینهسازیحذفNyloset yellow E-RKازمحلولهایآبی..... ۳۸

جدول۳-۳ جدولANOVAبرایحذفNyloset yellow E-RKازمحلولهایآبی.....۳۹

جدول۳-۴پارامترهایسینتیکیبرایجذبNyloset yellow E-RKرویینانوذراتمغناطیسیاکسیدآهن. ۴۵

جدول۳-۵پارامترها و سطوح تعیین شده آن ها در طرح های غربالی.....۵۵

جدول۳-۶آزمایشات طراحی شده و نتایج به دست آمده در طرح های غربالی.....۵۵

جدول۳-۷پارامترهاوسطوحآنهابرایبهینهسازی..... ۶۰

جدول۳-۸آزمایشاتطراحیشدهوپاسخهایآنها..... ۶۰

جدول۳-۹ Desirabilityبراینتایجمشاهدهشدهوپیشبینیشده..... ۶۱

جدول۳-۱۰ آنالیزواریانسبرایحذفCrystal violet.....۶۳

جدول۳-۱۱ پارامترهایسینتیکیبرایجذبCrystal violetرویینانوذراتمغناطیسیFe_3O_4/SiO_2.....۶۸

فهرست اشکال

عنوان

صفحه

شکل۱-۱(A)پارامغناطیس(B)فرو مغناطیس(C)آنتی فرو مغناطیس(D)فری مغناطیس.....۵

شکل۱-۲ شمایی از پروسه رشد نانو ذرات Fe_3O_4/SiO_2.....۱۳

شکل۱-۳مغناطیسیته a) نانو ذرات b) Fe_3O_4نانو ذراتFe_3O_4/SiO_2.....۱۷

شکل۱-۴کاربرد نانوذرات مغناطیسی برای شناسایی تومور ها.....۲۳

شکل۱- ۵ ساختار مایسل، همی مایسل و ادمایسل در محیط آبی.....۲۶

شکل۱-۶ نمایش شماتیک از تهیه سورفکتانت تثبیت شده روی نانو ذرات Fe_3O_4 /SiO_2و کاربرد آن برای تغلیظ آنالیت به عنوان جاذبSPE.....۲۷

شکل-۷۱ ساختارCrystal violet.....۲۸

شکل۳-۱تصویر میکروسکوپ الکترونی نانو ذرات سنتزی Fe_3O_4.....۳۴

شکل۳-۲طیف (a)FTIRنانو ذرات(b)Fe_3O_4نانو ذرات Fe_3O_4-coated CTAB.....۳۵

شکل۳-۴اثرمقدارجاذب.....۴۲

شکل۳-۵اثرنوعشوینده.....۴۳

شکل۳-۶ مدل‌سازیسینتیکجذبسطحیرنگتوسط MNPبااستفادهازمعادلهشبهمرتبهاول.....۴۴

شکل۳-۷مدل‌سازیسینتیکجذبسطحیرنگتوسط MNPبااستفادهازمعادلهشبهمرتبهدوم.....۴۵

شکل۳-۸ ایزوترملانگمیردرجذبرنگتوسطنانوذراتمغناطیسیاکسیدآهن.....۴۸

شکل۳-۹ ایزوترمفرندلیچدرجذبرنگتوسطنانو ذراتمغناطیسیاکسیدآهن.....۴۹

شکل۳-۱۰حذف Nyloset yellowاز پساب سنتزی در زمان ها و مقادیر جاذب متفاوت.....۵۰

شکل۳-۱۱ طیف FTIR(a)نانوذرات Fe_3O_4(b)نانوذرات Fe_3O_4/SiO_2.....۵۲

شکل۳-۱۲ توزیعسایزنانوذراتمگنتیت.....۵۲

شکل۳-۱۳ توزیعسایزنانوذرات Fe_3O_4/SiO_2.....۵۳

شکل۳-۱۴ توزیعپتانسیلزتانانوذراتمگنتیت.....۵۴

شکل۳-۱۵ توزیعپتانسیلزتانانوذرات Fe_3O_4/SiO_2.....۵۴

شکل۳-۱۶ نمودارپارتوبرایپارامترهایانتخابشده.....۵۸

شکل۳-۱۷ نمودارااثراتاصلیبرایپارامترهای انتخابشده.....۵۸

شکل۳-۱۸ نمودارمقادیرپیشبینیشدهدرمقابلمقادیرتجربی.....۶۲

شکل۳-۱۹ نمودارواریانسپیشبینیشده.....۶۴

شکل۳-۲۰ نمودارپاسخسطحتخمینی.....۶۵

شکل۳-۲۱ اثرنوعشوینده.....۶۶

شکل۳-۲۲ مدلسازیسینتیکجذبسطحیرنگتوسط MNPبااستفادهازمعادلهشبهدرجهاول.....۶۷

شکل۳-۲۳ مدلسازیسینتیکجذبسطحیرنگتوسط MNPبااستفادهازمعادلهشبهدرجهدوم.....۶۷

شکل۳-۲۴ مدلسازیسینتیکجذبسطحیرنگتوسط MNPبااستفادهازمعادلهنفوذداخلی.....۶۸

شکل۳-۲۵ ایزوترملانگمیردرجذبرنگتوسطنانوذراتمغناطیسی Fe_3O_4/SiO_2.....۶۹

شکل۳-۲۶ ایزوترمفرندلیچدرجذبرنگتوسطنانوذراتمغناطیسی Fe_3O_4/SiO_2.....۶۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱- تاریخچه نانو تکنولوژی

پیشوند نانو در کلمه ی نانو تکنولوژی به معنای یک میلیاردم (۱×۱۰^{-۹}) است. نانو تکنولوژی با ساختارهای متنوعی از مواد سرو کار دارد که ابعادی در محدوده ی یک میلیاردم متر دارند. هر چند کلمه ی نانو تکنولوژی نسبتا جدید است، لیکن ابزارهای مفید و ساختارهایی با ابعاد نانومتری از دیرباز وجود داشته اند و در حقیقت قدمت آنها به شروع حیات روی کره زمین برمی گردد. جانوران نرم تن صدف دارو حلزون، صدف های بسیار سختی را می سازند که دارای سطوح داخلی رنگین کمان مانند هستند. این صدف ها با آرایش دادن کربنات کلسیم در واحدهای نانو ساختاری بسیار محکم که به وسیله چسبی ساخته شده از ترکیب کربوهیدرات-پروتئین به یکدیگر متصل می شوند، این حالت را بوجود می آورند . صدف ها یک دلیل تجربی و طبیعی بر این مطلب هستند که ساختارهای به دست آمده از نانو ذرات می توانند بسیارمحکمتر از ساختارهای عادی باشند[۱].

۱-۱-۱- تاریخچه نانو ذرات

نانوذرات از زمانهای بسیار دور مورد استفاده قرار میگرفته است. شاید اولین استفاده آنها در لعاب های چینی و سرامیک های تزئینی سلسله های ابتدایی چین بوده است(قرن ۴ و ۵). در یک جام رومی موسوم به جام لیکرگوس از نانو ذرات طلا استفاده شده است تا رنگهای متفاوتی از جام بر حسب نحوه تابش نور (از جلو یا عقب) پدید آید، البته علت چنین اثراتی برای سازندگان آنها ناشناخته بوده است. کربن سیاه یا کربن بلک مشهورترین مثال از نانوذراتی است که ده ها سال به طور انبوه تولید شده است و در تایرهای اتومبیل به منظور افزایش طول عمر آنها به کار رفته است و علت رنگ سیاه تایر هم، وجود این افزودنی سیاه رنگ است.گذشته از

آن در دهه ۱۹۳۰ برای اولین بار روشهای فرآوری بخار جهت تولید نانو ذرات بلوری مورد استفاده قرار گرفته شد. در سال های اخیر پیشرفت های بسیار بزرگی در زمینه امکان ساخت نانوذرات از مواد گوناگون وکنترل شدید بر روی اندازه، ترکیب و یکنواختی آنها صورت گرفته است[۲].

۱-۲-رفتار مغناطیسی مواد

رفتار مغناطیسی مواد ناشی از حرکت الکترون هاست.هر الکترون در اتم دو گشتاور مغناطیسی دارد. یک گشتاور مغناطیسی از چرخش (اسپین) الکترون حول محور خود و دیگری ازحرکت اوربیتالی الکترون حول هسته اتم ایجاد می شود. هر چرخش الکترون حول محور خودش به عنوان یک دو قطبی مغناطیسی عمل کرده و دارای گشتاور دو قطبی است که مغناطیس نامیده می شود.

آرایش الکترونی در هر تراز انرژی معین می تواند حداکثر شامل دو الکترون (یک جفت الکترون) با چرخش (اسپین) مخالف باشد. بنابراین ازآنجا که گشتاورهای مغناطیسی هر جفت الکترون درهر تراز انرژی برابر و خلاف جهت یکدیگر بوده ودر اغلب موارد آرایش الکترونها در اتمها به صورت جفت هستند، لذا دراین عناصر رفتار مغناطیسی مشاهده نمی شود.

۱-۲-۱- رفتار دیا مغناطیسی درمواد

با تاثیر میدان مغناطیسی خارجی در اتمهای ماده ای که در این میدان قرار می گیرد تعادل الکترونهای آنها کمی برهم می خورد و دو قطبیهای مغناطیسی کوچکی در داخل اتمها ایجاد می شود. این دو قطبیها با میدان مغناطیسی خارجی مخالفت می کنند. این کنش یک اثر مغناطیسی منفی ایجاد می کند که رفتاردیا مغناطیسی نامیده می شود. نتیجه رفتار دیا مغناطیسی یک ضریب حساسیت مغناطیسی منفی بسیار کوچک است. رفتار دیا مغناطیسی در بسیاری از عناصر مانند کادمیم، مس، نقره، قلع و روی دردمای معمولی محیط ایجاد می شود.

۱-۲-۲- رفتار پارامغناطیسی درمواد

بعضی از عناصر واسطه و عناصر قلیایی خاکی، شامل لایه های داخلی با الکترونهای منفرد هستند. موقعی که این الکترونها با دیگر الکترونهای ظرفیت ماده به حالت تعادل در نیایند، یک گشتاور مغناطیسی در نتیجه چرخش این الکترونها باهر اتم همراه می شود. وقتی این گونه مواد در این میدان مغناطیسی قرار گیرند با هم ردیف شدن گشتاورهای دو قطبیهای مغناطیسی اتمها یا مولکولها یک ضریب حساسیت مغناطیسی مثبت کوچکی به دست می آید این اثر رفتار پارا مغناطیسی نامیده می شود.

۱-۲-۳- رفتار فرو مغناطیس در مواد

هنگامی که مواد فرو مغناطیس در یکمیدان مغناطیسیقرارگیرند،آهنربامی‌شوند؛ چون میدان مغناطیسی بر حوزه‌های مغناطیسی اثر می‌گذارد و سبب می‌شود که دوقطبی مغناطیسی هر حوزه تحت تاثیر میدان مغناطیسی قرار گیرد. علاوه بر این حوزه‌هاییکه نسبت به میدان در وضعیت مناسبی قرار دارند، با وجود میدان رشد می‌کنند و حجمآنها افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه حوزه‌هایی که جهت‌گیری مناسب نداشتند، حجمشانکوچکتر می‌شود و مرز بین حوزه‌ها جابجا می‌شود و ماده خاصیت آهنربایی پیدا می‌کند.در موادی مثلآهن،کبالتونیکلدر صورتی که خالصباشند، حجم حوزه‌ها به آسانی تغییر می‌کند، در نتیجه به آسانی آهنربا می‌شوند، ولیبه آسانی هم خاصیت آهنربایی خود را از دست می‌دهند. این مواد رافرو مغناطیس نرممی‌نامند.

موادی مثل فولادبه سختی آهنربا می‌شوند و به سختی هم این خاصیت را از دست می‌دهند، یعنی حجم حوزه‌ها به سختی تغییر می‌کند. اینگونه مواد، فرو مغناطیس سخت نامیده می‌شوند. در اینگونه مواد برای افزایش حجم حوزه‌هایی که جهت‌گیری مناسب دارند، به میدان مغناطیسی

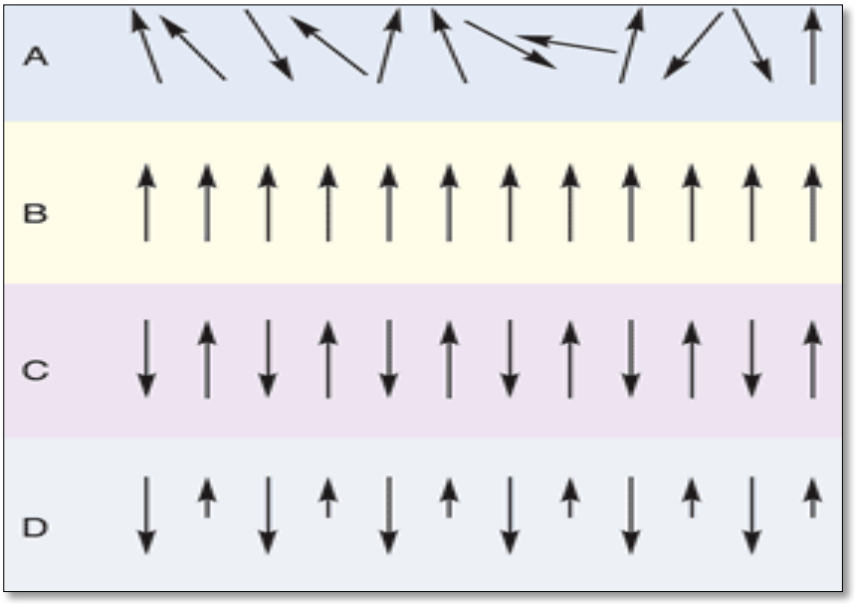
خارجی قویتر نیـاز اسـت. پـس از قطـع میـدان مغناطیسـی خـارجی، مـاده فـرو مغنـاطیس سـخت، خاصـیت آهنربایی خود را حفظ می‌کند.به همین دلیل برای ساختن آهنرباهای دائمی مناسب هستند.

۱-۲-۴- رفتار آنتی فرو مغناطیس در مواد

در ایـن مـواد حـوزه‌هـا بـا یکـدیگر هـم‌سـو نیسـتند(نیمی از حـوزه‌هـا در یـک جهـت و نیمـی در جهـت دیگر است). با افـزایش درجـه‌ی حـرارت خصـلت مغناطیسـی افـزایش مـی‌یابـد. درجـه حرارتـی را کـه در آن ماده‌ی آنتی فرومغناطیس بهپارامغناطیستبدیل می‌شود درجه‌ی حرارت نیل می‌نامند.

۱-۲-۵- رفتار فری مغناطیس‌در مواد

مواد فـری مغنـاطیس همـان مـواد آنتـی فرومغنـاطیس هسـتند بـا ایـن تفـاوت کـه خاصـیت مغناطیسـی حوزه آن ها کاملاً خنثی نشده است[۳].در تصویر زیر اشکال مختلف نشان داده شده است.



شکل۱-۱.(A)پارامغناطیس(B) فرو مغناطیس (C) آنتی فرو مغناطیس (D) فری مغناطیس[۴].

۱-۲-۶- خواص مغناطیسی مواد نانو ساختار

خواص مغناطیسی مواد نانوساختار یکی از پیچیده ترین خواص این مواد است و اطلاعات در این مورد محدود است. خواص فرومغناطیسی تمام مواد با تغییرفاصله بین اتم ها تغییر می کند. به همین دلیل ضریب مغناطیس اشباع و دمای انتقال فرومغناطیس مواد نانوساختار در مقایسه با مواد معمولی به مقدار قابل توجهی کمتر است.به عنوان نمونه، از طریق متبلور ساختن فاز آمورف در آلیاژهای نانوساختار پایه آهن که در حین انجماد سریع تشکیل شده اند می توان به خواص مغناطیسی جالبی دست یافت. با توجه به این موضوع فعالیت های زیادی به منظور ارتقاء خواص مغناطیس نرم آلیاژهای نانوساختار انجام گرفته است.

ریزساختار مغناطیسی آهن نانو ساختار با آهن آمورف یا پلی کریستال متفاوت می باشد. در مواد پلی کریستال و آلیاژهای آمورف حوزه های فرومغناطیسی توسط دیواره این حوزه ها از هم جدا شده اند در حالیکه در آهن نانوساختار، ساختار حوزه ای وجود ندارد. در واقع هر دانه در آهن نانوساختار خود یک حوزه فرومغناطیس مجزاست.

مشخصه دیگری که مواد نانوساختار از خود نشان می دهند اثر مگنتو کالوریک[1] نامیده می شود. اگر یک ماده که دارای ذرات با خاصیت مغناطیسی کم در یک زمینه ی غیر مغناطیسی یا مغناطیسی بسیارضعیف است، در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد اسپین های مغناطیسی ذرات در جهت میدان قرار می گیرند.این افزایش در نظم مغناطیسی با کاهش در میزان آنتروپی ماده همراه خواهد بود. اگر این فرایند به صورت آدیاباتیک انجام شود (یعنی تبادل حرارتی با محیط اطراف نداشته باشد) کاهش در آنتروپی اسپینی با افزایش آنتروپی شبکه جبران می شود و بنابراین دمای نمونه افزایش می یابد. این افزایش دما اصطلاحاً اثر مگنتو کالوریک نامیده می شود و یک فرایند برگشت پذیر است، به این صورت که با حذف میدان مغناطیسی دمای نمونه کاهش می یابد[۵].

[1] Magnetocaloric