

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم- گروه شیمی  
پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد  
گرایش شیمی معدنی

عنوان

سنتز هیبرید آلی- معدنی به روش سل- ژل

اساتید راهنما

آقای دکتر حسین اشتیاق حسینی

آقای دکتر محمد رضا حسین دخت

مولف

وجیهه افخمی

بهار ۸۸

پس ایند منان راکه لطفش مرابه این صراط راهنمایی کردو

کرش موجب توفیق روز افزونم شد.

زندگی در گذر است روزها ز پی هم می آیند و می روند، انسان فانی است اما خاطرات باقی است در این مدت با

وجود همه ی پستی ها و بلندی هایش خاطراتی زیبا بر ایام بر جانم در پایان نه تنها این اوراق مکتوب بلکه شیرین ترین

لحظات زندگیم را تقدیم می دارم به

پدرم عزیزم

بال و پر م، که او پرواز را به من هدیه کرد.

مادر مهربانم

تاج سرم، که از دلمان او به اوج رسیدم

و همسر عزیزم

تکیه گاهم، که با صبر و شکیبایی من را همراهی کرد.

## تشکر و قدردانی

گردآوری این مجموعه مرهون راهنمایی و زحمات ارزشمند و بی دریغ دو استاد راهنمای گرامیم آقای دکتر اشتیاق حسینی و آقای دکتر حسین دخت است. که همواره وقت گرانقدرشان را در اختیار اینجانب قرار دادند و با صبر و حوصله‌ی بیش از حد و صف در هدایت این حقیر سعی فرموده‌اند که این دو بزرگوار علاوه بر تحقیق و پژوهش با اخلاق و رفتار پسندیده‌شان و صبر و متانت به من درس زندگی دادند.

لذا با تمام وجود از این دو استاد گرامی تشکر و قدردانی می‌نمایم. از اساتید محترم آقای دکتر یزدان‌بخش و آقای دکتر علیزاده به خاطر استفاده از کلاسهای درسشان در دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد تشکر می‌کنم. از مساعدت اعضای محترم مؤسسه تحقیقاتی پرطاووس به خاطر انجام آنالیزهای XRD و DTA بر روی نمونه‌ها کمال تشکر را دارم. همچنین از استاد گرامی آقای دکتر طیاری به خاطر همکاری و مساعدت در ثبت طیف‌های FTIR تشکر و قدردانی می‌نمایم. در پایان بر خود لازم می‌دانم که از زحمات تمامی افرادی که مرا در تکمیل این پروژه یاری نمودند سپاسگزاری نمایم.

## ارسال چکیده پایان نامه (فارسی)

عنوان پایان نامه: سنتز هیبرید آلی-معدنی به روش سل - ژل  
تاریخ دفاع (شمسی): ۸۸/۱/۲۴  
تعداد صفحات: ۹۳  
کلمات کلیدی: هیبرید آلی - معدنی; سل - ژل; TG ; XRD.  
تذکر: کلمات کلیدی را با ';' جدا نمایید.

تذکر: شماره پرسنلی و نام و نام خانوادگی استاد را از [ ] انتخاب نمایید، در صورت عدم وجود، نام و نام خانوادگی

را بصورت دستی وارد نمایید.

نام و نام خانوادگی	شماره پرسنلی	استاد راهنما
حسین اشتیاق حسینی	۳۰۰۵۱۶	۱-
محمدرضا حسین دخت	۳۰۰۵۱۱	۲-
نام و نام خانوادگی	شماره پرسنلی	استاد مشاور
		۱-
		۲-

### چکیده:

مواد هیبرید آلی - معدنی تهیه شده به روش سل - ژل یک گرایش جدید از تحقیقات در علم مواد شده‌اند. فعالیت گسترده در این ناحیه در دهه گذشته پیشرفت‌های زیادی را هم در فهم اساسی مراحل سل - ژل و هم توسعه کاربردهای مواد هیبرید آلی - معدنی جدید به وجود آورده است، همچنین یکی از سیماهای جذاب روش سل - ژل این است که تهیه انواع متعددی از مواد هیبرید آلی - معدنی جدید که به وسیله روشهای دیگر غیر ممکن و یابی نهایت سخت است ممکن می‌سازد. در این تحقیق یک هیبرید آلی - معدنی جدید به روش سل - ژل سنتز شد، نسبت تترآ آلکوکسی سیلان به گلابسین به منظور مطالعه اثر تترآ آلکوکسی- سیلان و گلابسین بر ساختمان سل - ژل تغییر داده شد. نمونه‌ها به وسیله روشهای فیزیکو شیمیایی از قبیل XRD, FTIR, TG و BET شناسایی شدند. کلمات کلیدی: هیبرید آلی - معدنی، سل - ژل، XRD، TG.

doc.

Browse...

فایل چکیده  
پایان نامه:

انصراف

ارسال پایان نامه

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	<b>فصل اول: فرآیند سل - ژل</b>
۲.....	۱-۱- تاریخچه فرآیند سل - ژل
۳.....	۲-۱- تعریف برخی اصطلاحات
۴.....	۳-۱- انواع ژل ها
۵.....	۴-۱- فرآیند سل - ژل
۹.....	۵-۱- مراحل هفت گانه تولید سل - ژل
۱۲.....	۶-۱- خواص ماتریکس سل - ژل
۱۵.....	۷-۱- مزایا و معایب روش سل - ژل
	<b>فصل دوم: هیبرید آلی - معدنی</b>
۱۸.....	۲ - ۱ - تاریخچه
۱۹.....	۲-۲- تعریف اورموسیل
۱۹.....	۲ - ۳ - انواع مواد هیبرید آلی - معدنی
۲۲.....	۲ - ۴- انواع مواد اولیه جهت تهیه اورموسرها
۲۳.....	۲ - ۵- خواص اورموسیلها
۲۴.....	۲-۶- تقسیم بندی کلی شبکه های هیبریدی
۲۴.....	۲-۷- انواع روشهای سنتز هیبریدهای آلی - معدنی
۲۶.....	۲-۸- کاربردهای هیبریدهای آلی - معدنی
	<b>فصل سوم : حسگرها و بیوحسگرها</b>
۳۰.....	۳-۱- مقدمه
۳۰.....	۳-۲- علم حسگری

۳۱	۳-۳ سازوکار حسگری.....
۳۲	۳-۴ انواع حسگرها.....
۳۲	۳-۴-۱ بیوحسگرها.....
۳۴	۳-۴-۲ اجزای بیولوژیکی.....
۳۴	۳-۴-۳ روش های تثبیت.....
۳۷	۳-۴-۴ عوامل اجرایی.....
۳۸	۳-۴-۵ ماتریکس تثبیت.....
۴۱	۳-۴-۶ کاربردهای بیوحسگرها.....

### فصل چهارم: کارهای تجربی

۴۳	۴-۱ مواد مورد استفاده.....
۴۳	۴-۲ مشخصات دستگاهی.....
۴۳	۴-۲-۱ طیف مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR).....
۴۳	۴-۲-۲ طیف DTA.....
۴۳	۴-۲-۳ TG.....
۴۳	۴-۲-۴ طیف XRD.....
۴۳	۴-۲-۵ کوره دیجیتال.....
۴۴	۴-۲-۶ آنالیز سطح و روزنه.....
۴۴	۴-۳ کارهای آزمایشگاهی.....
۴۴	۴-۳-۱ سنتز جزء معدنی.....
۴۴	۴-۳-۲ سنتز هیبرید آلی - معدنی.....

### فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری

۴۷	۵-۱ مقدمه.....
۴۷	۵-۲ FTIR.....
۴۷	۵-۲-۱ جزء معدنی.....
۴۸	۵-۲-۲ هیبرید آلی - معدنی A.....



.....	۴۹	B	۳-۲-۵	هیبرید آلی - معدنی
.....	۴۹	C	۴-۲-۵	هیبرید آلی - معدنی
.....	۵۰	D	۵-۲-۵	هیبرید آلی - معدنی
.....	۵۰	E	۶-۲-۵	هیبرید آلی - معدنی
.....	۵۱		۷-۲-۵	نتیجه
.....	۵۲		DTA	۳-۵
.....	۵۲		TGA	۴-۵
.....	۵۳		XRD	آنالیز ۵-۵
.....	۵۴	A	۱-۵-۵	هیبرید آلی - معدنی
.....	۵۴	B	۲-۵-۵	هیبرید آلی - معدنی
.....	۵۴	C	۳-۵-۵	هیبرید آلی - معدنی
.....	۵۵	D	۴-۵-۵	هیبرید آلی - معدنی
.....	۵۵	E	۵-۵-۵	هیبرید آلی - معدنی
.....	۵۵		۶-۵-۵	نتیجه
.....	۵۵		BET	۶-۵
.....	۵۶		۷-۵	نتیجه گیری پایانی
.....	۵۷		۸-۵	پیشنهادات



# فصل اول

فرآیند سل - ژل

## ۱-۱- تاریخچه فرآیند سل - ژل

اصطلاح سل - ژل<sup>۱</sup> ترکیبی از دو کلمه سل مخفف محلول و ژل مخفف ژل شدن است [۱]. روش سل - ژل بیش از دو دهه است که به عنوان مسیری امید بخش برای سنتز موادی بر پایه آلکوکسید فلزی از قبیل شیشه ها، سرامیکها و حتی ترکیبات هیبرید آلی - معدنی توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۲].

توجه به فرآیند سل - ژل با مطالعات محقق فرانسوی، ابلمن<sup>۲</sup>، در سال ۱۸۴۶ میلادی شروع شد. وی ترکیبات یکپارچه سیلیکاتی را از پیش ماده تترااتوکسی سیلان سنتز کرد (این پیش ماده از اتانول و تتراکلروسیلان تهیه می شود) [۳].

در دهه ۱۹۷۰، Roy و همکارانش از سل - ژل به عنوان روشی برای رسیدن به حداکثر همگنی شیمیایی در محلول ها استفاده کردند. آنها ترکیبات اکسید سرامیکی زیادی را که حاوی Zn، Si، Al و ... بوده را سنتز کردند که به وسیله تکنیک مرسوم تهیه سرامیک ها قابل تولید نبودند [۴].

دمای بالا در طول پردازش محدودیت اصلی در تهیه مواد سرامیکی مرسوم بوده است که مشکلاتی از قبیل ناتوانی در تهیه ساختمانی با شکل هندسی معین را در پی داشت [۵] در نتیجه تکنولوژی سل - ژل با توجه به امتیازاتی که دارد یک ونیم قرن است که برای تولید مواد سرامیکی استفاده می شود [۶].

---

1 - Sol-gel

2 - Ebelmen

توسعه در تکنولوژی سل - ژل تشکیل مواد سرامیکی در فازهای دلخواه در دمای کم را عملی کرده است و به همین علت به سرعت برای کاربردهای خانگی و تکنولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته است [۵].

سل - ژل اولین بار در سال ۱۸۰۰ میلادی برای ترکیبات آلی مطرح شد. اولین کاربرد تجاری این روش در سال ۱۹۳۰ میلادی انجام گرفت.

امروزه روش سل - ژل در مقیاس صنعتی و نیز آزمایشگاهی در تمام دنیا به کار می‌رود. از این روش برای ساخت مواد هیبریدی آلی و غیرآلی، مواد اکسیدی غیرآلی با سختی، شفافیت اپتیکی، دوام شیمیایی، مقاومت گرمایی مناسب و به طور کلی برای ساخت مواد سرامیکی و شیشه‌ای در دماهای پایین استفاده می‌شود.

همچنین به روش سل - ژل می‌توان ذرات نانومتری سنتز نمود، بنابراین در شاخه‌های بیوتکنولوژی، ارتباطات، نانوتکنولوژی، روکش‌ها و ... که از ذرات نانو استفاده می‌کنند، نیز کاربرد دارد [۷].

## ۱-۲- تعریف برخی اصطلاحات

سل: ذرات کلوئیدی<sup>۱</sup> پراکنده در محلول به ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که به علت کوچکی بیش از حد بوسیله حرکت براونی در محلول به حالت معلق<sup>۲</sup> باقی می‌مانند [۵].

به عبارت دیگر سل محلولی است شامل اجزا ترکیبی، که این اجزا بصورت ذرات کلوئیدی در محلول معلق بوده و پایدار هستند، این ذرات دارای ابعادی هستند که از یک طرف آنها را

---

1 - Colloid

2 - Suspended

در برابر حل شدن پایدار می‌سازد و از طرف دیگر از رسوب آنها جلوگیری می‌کند. چنانچه این ذرات مقداری رشد کنند و یا خاصیت شیمیایی محلول تغییر کند، رسوب خواهند نمود. این ذرات همچنین می‌توانند بوسیله پلیمریزاسیون از اجزا با وزن مولکولی کمتر بوجود آیند. عمل پلیمریزاسیون تا هنگامی که ذرات به ابعاد پایدار برسند ادامه خواهد داشت [۸].

ژل: یک شبکه صلب دارای منافذی با ابعاد کمتر از میکرومتر و زنجیره های پلیمری با طول متوسط بزرگتر از میکرومتر است [۵].

اصطلاح ژل به چهار دسته از مواد اطلاق می‌شود:

۱ - ساختارهای لایه ای کاملاً منظم.

۲ - شبکه های پلیمری کووالانسی کاملاً نامنظم

۳ - شبکه های پلیمری تشکیل شده از انباشتگی فیزیکی، غالباً نامنظم.

۴ - ساختارهای نامنظم [۹، ۵].

### ۳-۱ - انواع ژل ها

۱- هیدروژل<sup>۱</sup>: ژل ها را عموماً در محیط آبی تهیه می‌کنند. اصطلاح هیدروژل به ژلی اطلاق می‌شود که حفرات آن توسط آب پر شده اند البته گاهی اوقات به آن Equagel نیز گفته می‌شود.

۲ - الکوژل<sup>۲</sup>: به ژلی که حفرات آن توسط الکل پر شده باشد، گفته می‌شود. ژل هایی که از خشک کردن الکوژل بدست می‌آیند دارای حفره های بیشتری هستند و ساختار ژلی آبی تقریباً حفظ می‌شود و شکستگی کمتری در ساختار در هنگام خشک کردن اتفاق می‌افتد.

---

1 - Hydrogel  
2- Alchogel

۳ - گزروژل<sup>۱</sup>: به ژلی گفته می‌شود که مایع داخل حفره های ژل تحت شرایط اتمسفری تبخیر شود که خشک کردن نامیده می‌شود به گونه ای که ساختار کمی متراکم تر و فشرده تر شده، ترکیبات یکپارچه گزورژل نامیده می‌شود [۱۰].

۴ - آئروژل<sup>۲</sup>: در واقع نوعی ژل خشک است. بدین ترتیب که محلول داخل ژل خارج شده است به گونه ای که هیچ فشردگی یا تغییر در ساختار ژل ایجاد نشده است. این نوع ژل عموماً بدین صورت تهیه می‌شود که مایع درون منافذ به صورت گاز از شبکه ژل تحت شرایط فوق بحرانی خارج شود. ژلی با دانسیته پایین، درجه تخلخل بالا و سطح ویژه بالا با حفظ ساختار در حالت هیدروژل بدست می‌آید [۱۱].

#### ۴-۱- فرآیند سل - ژل

در یک تعریف کلی روش سل - ژل فرآیندی است که در آن یک سیستم از فاز مایع به نام سل به یک فاز جامد به نام ژل برده می‌شود [۱۲].

در طی انجام مراحل سل - ژل ویسکوزیتی محلول عمدتاً افزایش می‌یابد به طوری که سل برای تشکیل یک ژل سخت و متخلخل متراکم شده سپس با خشک شدن گزروژل تشکیل می‌شود [۱۳].

سل ابتدا به وسیله مخلوط کردن یک پیش ماده آلکوکسید از قبیل تترا متیل ارتوسیلیکات (TMOS) یا تترا اتیل ارتو سیلیکات (TEOS) با آب، یک حلال مشترک و یک کاتالیست

---

1 - Xerogel

2 - Aerogel

اسید یا باز در دمای اتاق تشکیل می‌شود. واکنش اساسی سل - ژل (هیدرولیز) وقتی که

آلکوکسید فلزی با آب مخلوط می‌شود، آغاز می‌گردد [۱۲].

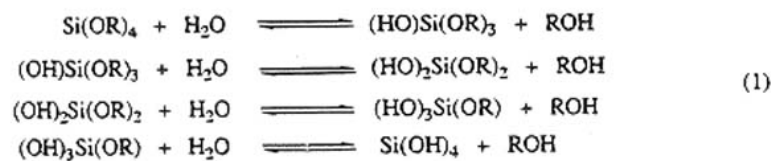
واکنش سل - ژل به طور عمومی به دو مرحله تقسیم می‌شود هیدرولیز آلکوکسیدهای

فلزی به منظور تولید گروه های هیدروکسیل و پلی تراکم گروه های هیدروکسیل و

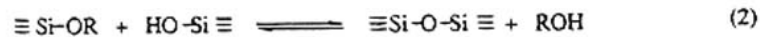
گروههای آلکوکسی باقی مانده برای تشکیل شبکه سه بعدی که به عنوان مثال با آلکوکسید

سیلیکون در شماتیک (۱) نشان داده شده است : [۱۴، ۱۲]

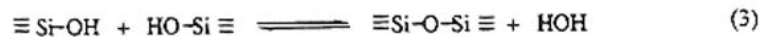
Hydrolysis



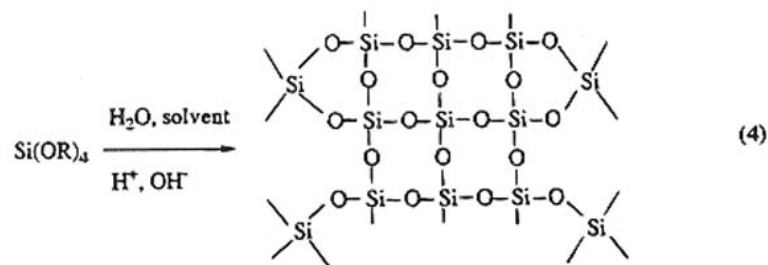
Alcohol Condensation (Alcoxolation)



Water Condensation (Oxolation)



Overall Reaction



شماتیک (۱) مراحل واکنش سل - ژل

تفکیک مراحل هیدرولیز و تراکم واقعا سخت است چون تراکم اغلب قبل از اینکه هیدرولیز کامل شود آغاز می‌گردد [۲، ۱۲، ۱۳].

همانطور که ملاحظه می‌شود مراحل هیدرولیز و تراکم، محصولات فرعی با وزن مولکولی کم از قبیل الکل و آب تولید می‌کنند این مولکولهای کوچک باید از سیستم انتقال داده شوند که در بعضی حالتها خروج این مولکولها باعث ایجاد یک شبکه  $\text{SiO}_2$  تترا هدرال می‌شود (اگر گونه‌ها دارای سیلیکون باشد). همچنین انقباض زیادی که در طول جریان سل - ژل کلاسیک اتفاق می‌افتد به انتقال محصولات فرعی نسبت داده می‌شود.

هر دو واکنش از طریق جابه جایی نوکلئوفیلی دو مولکولی در مرکز سیلیکون ( $\text{SN}_2\text{-Si}$ ) اتفاق می‌افتد. چون آلکوکسیدهای سیلیکون واکنش پذیری کمی دارند کاتالیست اسیدی، بازی یا نوکلئوفیلی برای افزایش سرعت هیدرولیز و تراکم افزوده می‌شود.

واکنش هیدرولیز تحت شرایط اسیدی شامل پروتونه شدن گروه آلکوکسی می‌شود که به وسیله حمله نوکلئوفیلی با آب برای تشکیل واسطه پنج کئوردینه تعقیب می‌شود. بار مثبت جزئی گروه آلکوکسید مشخصه گروه ترک کننده بهتر را به آن می‌دهد.

تحت شرایط بازی حمله نوکلئوفیلی آنیون هیدروکسید به اتم سیلیکون منجر به تشکیل یک واسطه پنج کئوردینه باردار شده منفی می‌شود که با جابه جایی یک آنیون آلکوکسید دنبال می‌شود [۱۳، ۱۴].

انتظار می‌رود که مقدار زیادی آب نسبت به آلکوکسید (R) واکنش هیدرولیز را تقویت کند، به طوری کلی تحت شرایط استوکیومتری ( $R < 2$ ) محصول غالب الکل است، در جایی که



( $R > 2$ ) واکنش تراکمی که منجر به تشکیل آب می‌شود مطلوب است، مقادیر زیاد ( $R$ ) موجب هیدرولیز کامل مونومرها قبل از اینکه تراکم قابل توجه اتفاق بیافتد می‌شود [۱۲]. همچنین مراحل واکنش برای آلکوکسیدهای فلزی دیگر از قبیل  $Al, Ti, Zr$  و غیره به همین صورت است [۱۵].

به طور کلی هیدرولیز  $M-OR$  گروه  $M-OH$  را تولید می‌کند و در ادامه این گروه‌ها برای انجام تراکم وارد واکنش شده و تولید  $M-O-M$  و آب را می‌کنند. تراکم متوالی منجر به رشد الیگومرهای metaloxane می‌شود که متعاقباً به هم متصل می‌شوند تا شبکه ژل را تشکیل دهند.

چون سرعت هیدرولیز آلکوکسی سیلان‌ها در مقایسه با فلزات دیگر مانند  $Al, Ti, Zr, B$  کند است بنابراین می‌توان مراحل سل، تراکم و ژل‌شدگی را به وسیله تکنیک‌هایی از قبیل طیف‌سنجی زیر قرمز، رامان و NMR برای بررسی در مقیاس مولکولی، X-ray، پراش نوترون و پراش نوری<sup>۱</sup> برای ساختمان‌های بزرگتر به راحتی بررسی کرد [۲].

## ۱-۵- مراحل هفت‌گانه تولید سل - ژل

### ۱- مخلوط کردن<sup>۲</sup>

در روش سل - ژل، پودرهای کلوئیدی یا سل، توسط ذرات کلوئیدی در آب (در PH مناسبی که از رسوب آنها جلوگیری می‌کند) یا توسط یک ماده آلکوکسید مایع، مانند  $Si(OR)_4$  ( $R=CH_3$  یا  $C_3H_7$ ) که با آب هیدرولیز شده، مخلوط می‌شوند [۱۶].

1 - Light Scattering

2 - Mixing

## ۲ - قالب گیری<sup>۱</sup>

از آنجایی که سل یک مایع با ویسکوزیته پایین است می‌تواند به داخل یک قالب برای تهیه اشکال مختلف سل - ژل ریخته شود. قالب باید طوری انتخاب شود که از چسبندگی ژل به آن جلوگیری شود.

## ۳ - ژله ای شدن<sup>۲</sup>

در اثر مرور زمان ذرات کلونیدی و گونه های سیلیکای متراکم شده برای تشکیل یک شبکه سه بعدی به یکدیگر متصل می‌شوند. خصوصیات فیزیکی شبکه ژل بستگی زیادی به اندازه ذرات و وسعت اتصالات عرضی قبل از ژله‌ای شدن دارد. در ژله‌ای شدن ویسکوزیته بطور ناگهانی افزایش می‌یابد و یک جسم جامد به شکل قالب مورد استفاده بدست می‌آید.

## ۴ - پیر کردن<sup>۳</sup>

باقی ماندن ژل کاملاً غوطه ور در مایع، درون قالب برای مدتی (ساعت ها یا روزها) را پیر کردن یا Syneresis می‌نامند. یک ژل پیر شده باید به اندازه کافی قدرت و دوام در برابر شکستگی در مرحله خشک شدن را دارا باشد. در طی این مرحله تغییرات فیزیکی و شیمیایی وسیعی بطور همزمان و یا مجزا اتفاق می‌افتند که عبارتند از:

الف: پلیمریزاسیون<sup>۴</sup> و افزایش در اتصالات شبکه ژل.

ب: جمع شدن و انقباض خود به خود ژل و دفع حلال از منافذ آن.

---

1 - Casting  
2 - Gelation  
3 - Aging  
4 - Polymerisation

ج: افزایش در اندازه ی منافذ.

د: جدائی فاز یا کریستالیزاسیون [۱۷].

## ۵ - خشک کردن<sup>۱</sup>

بحرانی ترین مرحله فرآیند سل - ژل خشک کردن است. زیرا در طی این مرحله است که بیشترین احتمال شکستن ژل وجود دارد. ژل تشکیل شده وقتی تحت عملیات خشک کردن قرار می گیرد آب و حلالهای الکلی موجود در ژل تبخیر می شود، چنانکه در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، معمولاً چهار فرآیند شیمیایی مختلف حین خشک کردن ژل ممکن است اتفاق بیافتد که سه مرحله ی اصلی آن گرمازا و با کاهش جرم همراه است. آشکارسازی جرمی نشان می دهد که بیشترین تبخیر در مرحله تجزیه اتفاق می افتد که شامل خروج دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) و دی اکسید نیتروژن ( $NO_2$ ) است. این مرحله با مصرف اکسیژن همراه است. در آخرین مرحله (چهارمین مرحله) که به صورت خط هموار در ناحیه ی دمای بالا در شکل ۱-۲ ظاهر شده است،  $CO_2$  اضافی خارج شده و هیچ ناخالصی آلی باقی نمی ماند و فاز پروسکایت خالص شکل می گیرد.

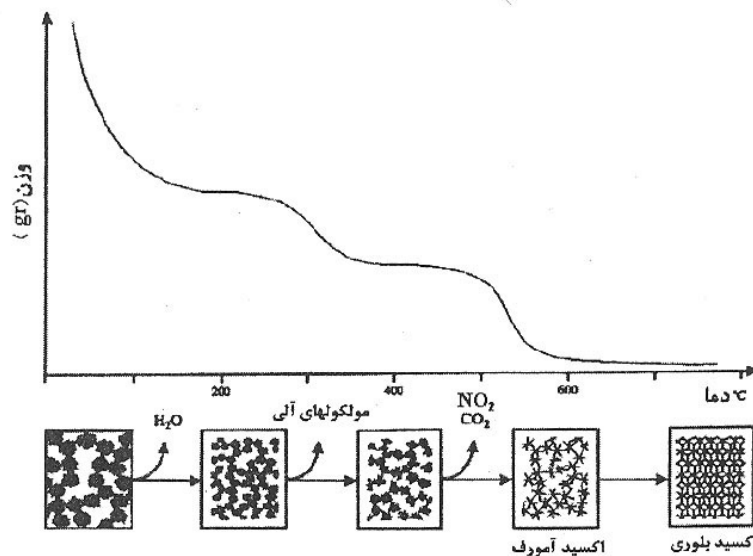
در طول خشک کردن، در صورتی که منافذ کوچک باشند (کمتر از ۲۰ نانومتر) فشارهای مویینی زیادی بوجود می آیند. این فشارها باعث شکستگی ژل می شوند.

نحوه خشک کردن ژل نیز تأثیر زیادی در خواص ژل دارد اگر خشک کردن با سرعت بالایی انجام شود، محصول بدست آمده دارای تخلخل زیاد، چگالی کم و سطح ویژه بالایی

---

1 - Drying

است، هنگامی که خشک کردن به آرامی صورت گیرد، محصول بدست آمده دارای تخلخل کم، چگالی بالا و سطح ویژه کوچکتري نسبت به حالتی است که سریع خشک می‌شود [۷، ۱۸، ۱۹].



شکل ۱- ۲ نمونه‌ای از یک نمودار TGA که واکنش‌های شیمیایی محتمل حین خشک کردن ژل را نشان می‌دهد.

## ۶- آبدایی یا تثبیت شیمیایی<sup>۱</sup>

خارج کردن پیوندهای سیلانول سطح از منافذ باعث بدست آمدن یک جامد فوق متخلخل خیلی پایدار می‌شود. ژل خشک شده هنوز دارای گروه‌های هیدروکسیل روی سطح منافذش می‌باشد.

گرمادهی آن در گستره ی  $500-800^{\circ}\text{C}$  باعث می‌شود که گروه‌های هیدروکسیل سطحی حذف شده و حساسیت ژل به فشارهای ناشی از آبدایی مجدد کاهش یابد که اصطلاحاً گفته می‌شود، ژل پایدار شده است (تثبیت ژل). وقتی ژل کاملاً آبدایی شد تقریباً هیچ گونه

1 - Dehydration or chemical stabilization