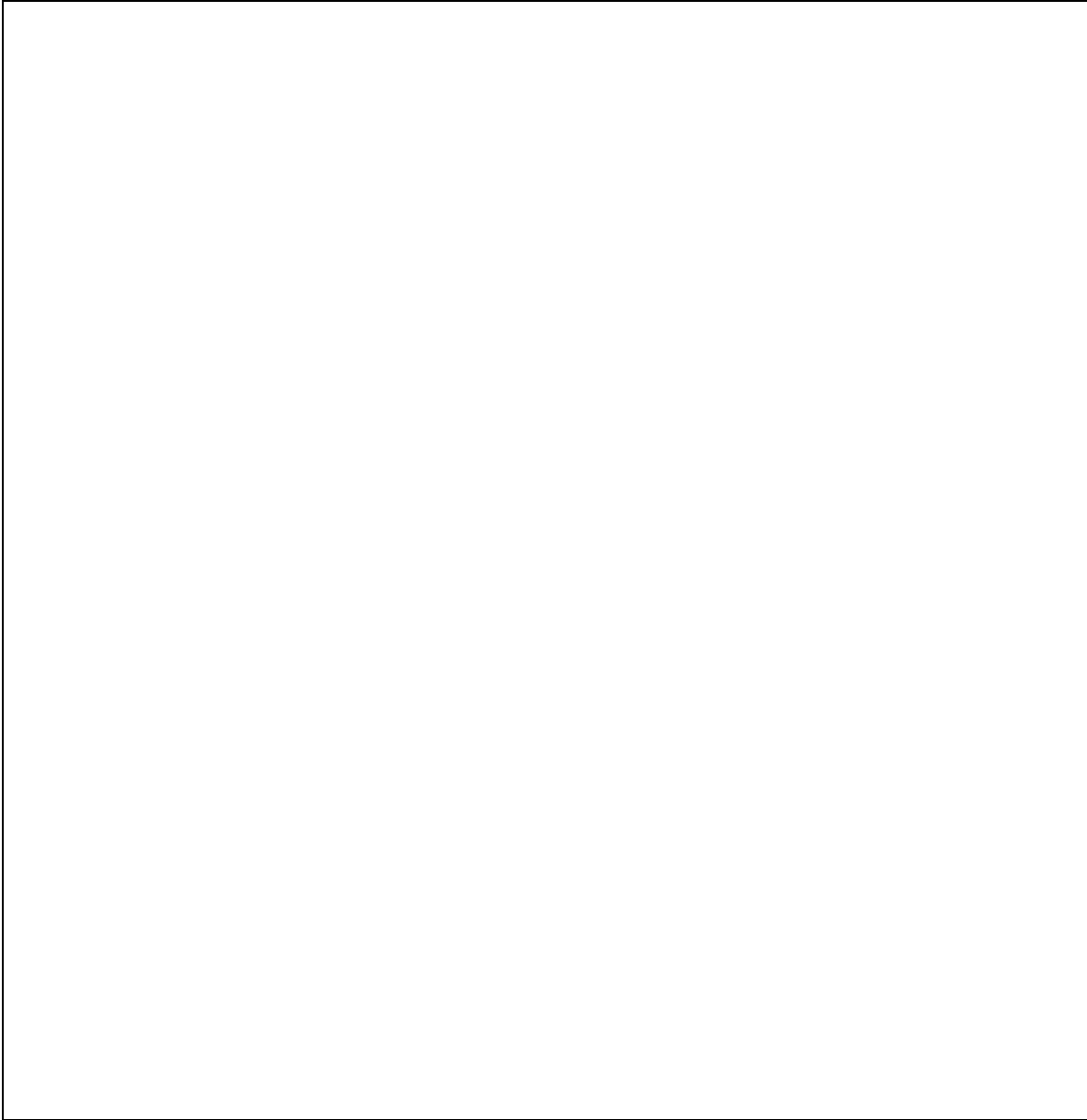


<b>نام خانوادگی:</b> اسلامي <b>نام:</b> کبري	
<b>عنوان پایان نامه:</b> مطالعه سینتیک تخریب التراسونیکي رودامین 6G در حضور آب اکسیژنه و اکسید روی	
<b>استاد راهنما:</b> دکتر عباس مهرداد <b>استاد مشاور:</b> دکتر محمد تقی زاده	
<b>مقطع تحصیلی:</b> کارشناسی ارشد <b>رشته:</b> شیمی <b>گرایش:</b> شیمی فیزیک <b>دانشگاه:</b> تبریز <b>دانشکده:</b> شیمی تاریخ فارغ تحصیلی: بهمن ۱۳۸۹ <b>تعداد صفحه:</b> ۱۱۰	
<b>کلید واژه ها:</b> تخریب التراسونیکي، رودامین 6G، سینتیک، اکسید روی و انرژی فعالسازي	
<b>چکیده:</b>	
<p>پساب اغلب واحدهای رنگرزی و نساجی حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات رنگی هستند که این یک مشکل زیستی را ایجاد می کند. از جمله این ترکیبات رنگی رودامین 6G می باشد که به وسیله ی فرایندهای اکسایش پیشرفته مثل تخریب فتوکاتالیزوری، شیمیایی و التراسونیکي قابل تخریب می باشد.</p>	
<p>در این کار پژوهشی تخریب رودامین 6G در حضور (آب اکسیژنه)، (آب اکسیژنه + اکسید روی + التراسونیک) مورد بررسی قرار گرفته است. از بررسی واکنش تخریب رودامین 6G در غلظتهای متفاوت آب اکسیژنه و اکسید روی، درجه واکنش نسبت به هر یک از این واکنش دهنده ها تعیین شده است. در قسمت اول این کار پژوهشی تخریب شیمیایی رودامین 6G در pH=9 بررسی شده است که معادله سرعت به دست آمده به صورت زیر است:</p> $R = 0.20 [H_2O_2]^{0.67} [R6G]^{1.23}$	
<p>از بررسی وابستگی دمایی سرعت تخریب ، انرژی فعالسازي فرایند تخریب رودامین 6G در ۱۱ و ۹، pH=۷ به ترتیب ۱۱۹/۳۵، ۹۹/۶۹ و ۲۴/۵۱ کیلوژول بر مول به دست آمده اند.</p>	
<p>در قسمت بعدی پایان نامه تخریب التراسونیکي رودامین 6G در حضور آب اکسیژنه و اکسید روی در ۹ و ۷، ۵، ۳، pH= بررسی شده است. تخریب التراسونیکي رودامین 6G در حضور آب اکسیژنه و غیاب اکسید روی در pH=9 بررسی شده است. که معادله سرعت به دست آمده به صورت زیر است:</p>	
$R = 0.044 [H_2O_2]^{0.12} [R6G]^1$	
<p>همچنین تخریب التراسونیکي رودامین 6G در حضور آب اکسیژنه و اکسید روی در pH=9 بررسی شده است. که معادله سرعت به دست آمده به صورت زیر است:</p>	
$R = k[H_2O_2]^{0.11}[ZnO]^{0.52}[R6G]^1$	
<p>همچنین تخریب التراسونیکي رودامین 6G در حضور آب اکسیژنه و اکسید روی در توانهای متفاوت ۸۰ الی ۴۰۰ وات بررسی شده است. بررسی نتایج نشان می دهد که هرچه توان امواج التراسونیک بیشتر باشد، سرعت تخریب نیز افزایش می یابد.</p>	



صفحه	عنوان
	فصل اول : مقدمه و بررسی منابع
۱-۱-	مقدمه
۱	۱-۲- التراسونیک و سونوشیمی
۳	۱-۳- حفره زایی
۴	۱-۴- سینتیکها و مکانیسم واکنشهای سونوشیمیایی
۵	۱-۵- عوامل موثر بر واکنشهای سونوشیمیایی
۶	۱-۵-۱- اثر توان امواج التراسونیک
۶	۱-۵-۲- اثر نوع حلال

۶

۱-۵-۳- اثر

..... دما  
.....  
.....

۶

۱-۵-۴- اثر گازهاي حل شده در

..... محلول  
.....

۷

۱-۵-۵- اثر فرکانس امواج

..... التراسونیک  
.....  
.....

۷

۱-۶- کاربردهاي امواج

..... التراسونیک  
.....  
.....

۸

۱-۷- اثر هم افزايي التراسونیک و ديگر روشهاي

..... تخریب  
.....

۸

۱-۸- بررسی کارهاي تجربی انجام شده در زمينه تخریب

..... التراسونیکي  
.....

۹

۱-۹-

..... رودامينها  
.....  
.....

۲۰

۱-۹-۱- رودامين

..... 6G  
.....  
.....

۲۰

۱-۹-۲- تخریب نوری رودامین

.....6G

.....

,۲۲

۱-۹-۳- تخریب فتوکاتالیزوری

.....رودامین6G

.....

۲۳

۱-۹-۴- تخریب اکسایشی رودامین

.....6G

.....

۲۶

۱-۹-۵- تخریب التراسونیک رودامین

.....6G

.....

۲۸

۱-۱۰- اهداف

.....پایاننامه

.....

.....

۲۹

## فصل دوم : مواد و روشها

۲-۱- مواد

.....مصرفی

.....

.....

۳۰

۲-۲- دستگاههای مورد

.....استفاده

.....

.....

۳۰

۲-۳- کارهای تجربی انجام یافته برای تخریب شیمیایی رودامین

.....6G

.....	۳۰
۴-۲- کارهاي تجربي انجام يافته براي تخريب التراسونيكی رودامين .....6G	.....
.....	۳۱
فصل سوم : نتايج و بحث	
۱-۳- تخريب شيميايي رودامين .....6G	.....
.....	۳۲
۱-۱-۳- بررسی اثر pH بر روی سرعت تخريب شيميايي رودامين .....6G	.....
.....	۳۲
۲-۱-۳- بررسی اثر غلظت آب اکسيژنه بر روی سرعت تخريب شيميايي رودامين6G	.....
.....	۳۷
۲-۳- تعیین انرژی فعالسازي تخريب شيميايي رودامين 6G در pH هاي متفاوت.....	.....
.....	۴۴
۱-۲-۳- تعیین انرژی فعالسازي تخريب شيميايي رودامين 6G در .....pH=۷	.....
.....	۴۴
۲-۲-۳- تعیین انرژی فعالسازي تخريب شيميايي رودامين 6G در .....pH=۹	.....
.....	۴۹
۳-۲-۳- تعیین انرژی فعالسازي تخريب شيميايي رودامين 6G .....در pH=۱۱	.....
.....	.....

۵۴

۳-۳- تخريب التراسونيكى رودامين  
6G.....  
.....

۵۸

۳-۳-۱- بررسى اثر pH بررولى تخريب التراسونيكى رودامين 6G در  
حضور آب اكسيژنه.....

۵۸

۳-۳-۲- بررسى اثر pH بررولى تخريب التراسونيكى رودامين 6G در  
حضور آب اكسيژنه و اكسيد روى.....

۶۵

۳-۳-۳- بررسى اثر غلظت اكسيدروى بررولى سرعت تخريب التراسونيكى  
رودامين 6G در حضور آب اكسيژنه

۷۱

۳-۳-۴- بررسى اثر غلظت آب اكسيژنه بر روى سرعت تخريب  
التراسونيكى رودامين 6G.....

۷۸

۳-۳-۵- بررسى اثر غلظت آب اكسيژنه بر روى سرعت تخريب  
التراسونيكى رودامين 6G در حضور اكسيد

روى.....  
.....  
۸۶.....

۳-۳-۶- بررسى اثر توان امواج التراسونيكى بررولى تخريب التراسونيكى  
رودامين 6G در حضور آب اكسيژنه و  
اكسيدروى.....  
.....

۹۳

۳-۴- نتيجه  
گيرى.....  
.....

۱۰۰

۳-۵-

پیشنهادهات.....  
.....  
.....

۱۰۲

منابع.....  
.....  
.....

۱۰۳

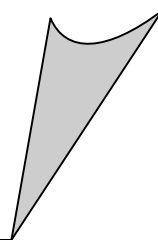






# فصل اول

مقدمه و بررسی منابع



آلودگی محیط زیست از منابع گوناگون صورت می گیرد. با پیشرفت تمدن بشری و توسعه‌ی فناوری و ازدیاد روزافزون جمعیت، در حال حاضر دنیا با مشکلی به نام آلودگی در هوا و زمین روبرو شده است که زندگی ساکنان کره‌ی زمین را تهدید می‌کند، به طوری که در هر کشور حفاظت محیط زیست مورد توجه جدی دولتمردان قرار گرفته است.

ترکیبات آلی بسیاری به عنوان آلاینده در آب های سطحی و زیرزمینی شناسایی شده اند. این آلاینده‌ها می‌توانند توسط فرآیندهای مختلف مثل انعقاد<sup>۱</sup>، ترسیب<sup>۲</sup>، شناور کردن اسفنج<sup>۳</sup>، جذب سطحی با استفاده از کربن فعال شده، ترکیب فرایندهای انعقاد/ جذب سطحی کربن تصفیه شوند. ولی این فرآیندها غیرموثر بوده و آلاینده را از یک محیط به محیط دیگر منتقل می‌کنند[۱].

اخیراً توجه قابل ملاحظه‌ای به استفاده از فرآیندهای اکسایش پیشرفته<sup>۴</sup> در تخریب کامل آلاینده-ها شده است. فرآیندهای اکسایش پیشرفته براساس تولید گونه های فعال مثل رادیکال‌های هیدروکسیل هستند که قادر به اکسید کردن سریع دامنه وسیعی از آلاینده های آلی به مواد معدنی می‌باشند [۲].

یکی از روش های اکسایش پیشرفته، اکسایش کاتالیتیکی مرطوب<sup>۵</sup> می باشد که با استفاده کردن از هوا یا اکسیژن به عنوان اکسیدان، تبدیلات بالایی را می دهد ولی برای این فرآیند دماهای بالاتری مورد نیاز است [۳].

---

1 - Coagulation  
2- Precipitation  
3 - Foam flotation  
4 - Advanced oxidation process  
5 - Catalytic wet air oxidation

از بین فرآیندهای اکسایش پیشرفته، فتوکاتالیست های نیمه رسانا به عنوان یک روش تخریبی مهم شناخته شده اند که منجر به معدنی شدن بیشتر آلاینده های آلی به  $\text{CO}_2$ ، آب و اسیدهای معدنی می شوند [۴].

عموماً  $\text{TiO}_2$  به عنوان بهترین فتوکاتالیست مورد ملاحظه قرار می گیرد.  $\text{TiO}_2$  می تواند تحت تابش UV جفت های الکترون - حفره را تولید کند. این جفت های الکترون - حفره می توانند یک سری واکنش های اکسایش - کاهش ایجاد کنند که قادر به تخریب بیشتر آلاینده های آلی هستند [۵]. ولی استفاده از  $\text{TiO}_2$  برای تصفیه ی مقادیر بیشتر آب از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست [۲].

یکی دیگر از فتوکاتالیست های نیمه رسانا،  $\text{ZnO}$  می باشد دارای مزایایی مثل کارایی بالا، ماهیت غیر سمی و قیمت پایین می باشد [۴].  $\text{ZnO}$  نسبت به  $\text{TiO}_2$  کسر بیشتری از نور خورشید را جذب می کند. به همین خاطر  $\text{ZnO}$  برای تخریب فتوکاتالیزوری در حضور نور خورشید مناسب تر است [۲].

تخریب فتوکاتالیزوری برای تحریک کاتالیست نیمه رسانا به نور UV نیاز دارد که منجر به مصرف زیاد انرژی و هزینه ی بالا می شود. از طرفی این روش برای تصفیه ی فاضلاب های آلی غیرشفاف یا با شفافیت پایین مناسب نیست. هم چنین کارایی مورد استفاده ی نور UV به خاطر اثر پوششی UV توسط کاتالیست پایین است [۴].

اخیراً دانشمندان به این نتیجه رسیده اند که روش تخریب التراسونیک می تواند روش مناسبی جهت تخریب آلاینده های آلی باشد. تابش دهی با امواج التراسونیک منجر به تخریب سریع آلاینده - های شیمیایی شده و در مقایسه با سایر روش های اکسایش پیشرفته (مثل نور UV، کورونا با ولتاژ

بالا، خاکسترسازی<sup>۲</sup>، استخراج حلال<sup>۳</sup> دارای امتیازاتی از قبیل اطمینان، پاکیزگی، مقرون به صرفه بودن از نظر انرژی و عدم تولید آلاینده‌های ثانویه می باشد [۶].

## ۱-۲- التراسونیک و سونوشیمی

امواج فراصوتی یا التراسونیک به شکلی از انرژی از امواج مکانیکی گفته می شود که فرکانس آنها بالاتر از حد شنوایی انسان باشد. ( $< 16 \text{ KHz}$ ). امواج التراسونیک با توجه به کاربردها به ۲ ناحیه تقسیم می شوند: التراسونیک با فرکانس بالا ( $1-10 \text{ MHz}$ ) و التراسونیک با فرکانس پایین ( $100-20 \text{ KHz}$ ) [۷].

اثر التراسونیک در محیط مایع ابتدا توسط آلفرد لونیس<sup>۴</sup> در سال ۱۹۲۷ میلادی مشخص شد ولی پیشرفت اصلی در سونوشیمی بعد از ورود ژنراتورهای التراسونیک با شدت بالا و کم خرج در دهه ۵۰ ی ۱۹۸۰ رخ داد [۸]. از سال ۱۹۹۰ افزایش جالبی در استفاده از التراسونیک برای تخریب آلاینده های آلی موجود در آب و فاضلاب رخ داده است [۹].

قدرت نفوذ التراسونیک در هر محیط آبی بسیار بالاست و معمولاً عمق نفوذش ۲۰-۱۵ cm به دست می آید [۵]. امواج التراسونیک علاوه بر اینکه سرعت و بازده واکنش را افزایش می دهند بلکه مکانیسم واکنش ها را نیز تحت تأثیر قرار می دهند و واکنش شیمیایی را در مسیری پیش می برند که در فقدان امواج التراسونیک امکان پذیر نبوده است [۱۰].

---

1 - High voltage corona  
2 - Incineration  
3 - Solvent extraction  
4 - Alferd Loonis

۳-۱ - حفره زایی<sup>۱</sup>

سونوشیمی اصولاً براساس حفره زایی صوتی می باشد که شامل تشکیل، رشد و انهدام حباب-ها در مایع می باشد. [۱۱].

وقتی که یک موج صوتی به صورت طولی از میان یک مایع عبور می کند، فشار صوتی در داخل مایع ایجاد می شود. زمانی که فشار صوتی ایجاد شده در داخل مایع بر نیروی کشش سطحی غلبه کند فضاهاى خالی یا حفره هایی ایجاد می شود. حفره ها تبدیل به حباب می شوند، حباب با بخار مولکول های حلال یا گاز حل شده ی دیگر در حلال پر می شود. این حباب در سیکل تراکم صوتی فشرده می شود اما به علت وارد شدن بخارات حلال به داخل حفره از بین نمی رود. با چرخه های متوالی انبساط و تراکم در اثر فشار صوتی امواج التراسونیک این حباب شروع به رشد می کند و بعد از چند چرخه تراکم و انبساط، وقتی که شعاع این حباب به یک مقدار مشخص و بحرانی (اندازه حباب بستگی به خواص حلال و شرایط محیط دارد) رسید، آنگاه حباب ناپایدار شده و در یک فاصله زمانی در حدود چند میکروثانیه منهدم می شود. تشکیل این حبابها و متلاشی شدن آنها به نام پدیده حفره سازی شناخته شده است. انهدام حباب یک محیط غیرعادی برای واکنش شیمیایی از لحاظ دماها و فشارهای موضعی ایجاد می کند و باعث می شود واکنش شیمیایی با انرژی بالا رخ دهد [۷، ۸، ۱۱، ۱۲].

حباب های منهدم شده می توانند دماها و فشارهای بالای  $5000\text{ K}$  و  $1000\text{ atm}$  داشته باشند. این دماها و فشارهای بالا باعث سونولیز آب و تولید گونه های رادیکالی ( $\cdot\text{OOH}$ ،  $\cdot\text{OH}$ ،  $\text{H}\cdot$ ) و تخریب مستقیم حل شونده می شوند [۱۳].

## ۱-۴- سینتیک ها و مکانیسم واکنش های سونوشیمیایی

واکنش های سونوشیمیایی متفاوت از واکنش های شیمیایی هستند. واکنشهای سونوشیمیایی در

سه ناحیه رخ می دهند:

۱- حباب (هسته‌ی نقطه‌ی گرم) که پیرولیز مواد حل شده‌ی فرار در فاز گازی رخ می دهد. هم چنین

از پیرولیز آب در داخل حباب رادیکال های  $H^{\bullet}$  و  $OH^{\bullet}$  حاصل می شود.

۲- سطح مشترک مایع - حباب که دما کمتر از داخل حباب است ولی هنوز به حد کافی باعث

تخریب گرمایی می شود. به علاوه رادیکال های فعال تشکیل شده از پیرولیز آب در داخل حباب، در

غلظت های بالا در این نقطه جمع می شوند و ممکن است واکنش های تجزیه رادیکال آزاد را باعث

شوند.

۳- توده‌ی محلول که رادیکال های تشکیل شده در مناطق ۱ و ۲ برای واکنش با مولکول های حل

شونده پراکنده می شوند.

ترکیبات آلی ممکن است در ۲ ناحیه ی اول از طریق اثرات ترکیبی تخریب پیرولیتیکی و

هیدروکسیلاسیون یا در توده‌ی محلول از طریق تخریب اکسایشی توسط رادیکال های هیدروکسیل و

پراکسید هیدروژن تخریب شوند [۱۴].

مکانیسم واکنش اساساً توسط خصوصیات فیزیکی ترکیبات آلی کنترل می شود. ترکیبات

آلی آب گریز و فرار به طور عمده توسط پیرولیز مستقیم تخریب می شوند و منجر به تشکیل

محصولات فرعی قابل تخریب می شوند. در صورتی که ترکیبات آلی آبدوست و کم فرار و یا غیر

فرار توسط رادیکال های هیدروکسیل یا هیدروژنی که به داخل محلول نفوذ کرده اند تخریب شده

و منجر به تشکیل محصولات فرعی قابل اکسایش یا کاهش می شوند [۶].



## ۱-۵- عوامل موثر بر واکنش های سونوشیمیایی

عوامل مختلفی بر تخریب التراسونیک تأثیر می گذارند که مهمترین آن ها عبارتند از : توان امواج التراسونیک، نوع حلال، دما و گازهای حل شده در محلول.

### ۱-۵-۱- اثر توان امواج التراسونیک

با افزایش توان امواج التراسونیک، تخریب التراسونیک سریعتر می شود زیرا:

۱- با افزایش توان امواج التراسونیک، شعاع حبابهای تشکیل شده افزایش می یابد و افزایش شعاع

حبابهای تشکیل شده باعث می شود که انهدام حبابها با شدت بیشتری رخ دهد.

۲- استفاده از امواج التراسونیک با توان بالا باعث افزایش در تعداد حباب ها می شود..

۳- توان بیشتر به کار برده شده فقط اندازه حباب ها را بزرگ نمی کند بلکه هم چنین دماها و

فشارهای بیشتری در طول انهدام حباب تولید می کند که باعث تقویت تخریب التراسونیک

می شود[۱۵].

### ۱-۵-۲- اثر نوع حلال

تخریب التراسونیک توسط ویژگی های حلال مثل فشار بخار، ویسکوزیته، کشش سطحی و

دانسیته تحت تأثیر قرار می گیرد. حفره زایی در مایع با فشار بخار پایین و دانسیته ی پایین بیشتر

است. حلال های با ویسکوزیته ی بالا و کشش سطحی بالا، کارایی حفره زایی پایینی دارند[۱۶].

### ۱-۵-۳- اثر دما

در اکثر فرآیندهای شیمیایی با افزایش دما سرعت فرآیند افزایش می یابد، ولی در فرآیندهای

مکانیکی اثر معکوس مشاهده می شود. یعنی در فرآیندهای مکانیکی با افزایش دما، سرعت فرآیند

کاهش می یابد. این وابستگی عکس با دما می تواند گواه بر منشأ مکانیکی فرآیندهای یک محلول

باشد. واکنش های سونوشیمیایی اغلب در دماهای پایین سریعتر هستند و یا حداقل مرحله اول واکنش های سونوشیمیایی در دماهای پایین سریعتر است. این مطلب در مورد فرآیند تخریب التراسونیک نیز صدق می کند. در واقع با افزایش دما فشار بخار حلال افزایش می یابد بنابراین مولکولهای حلال بیشتری وارد حباب می شوند و در نتیجه انفجار حفره با شدت کمتری رخ می دهد [۱۷].

#### ۱-۵-۴- اثر گازهای حل شده در محلول

علاوه بر بخار ترکیبات فرار، حباب شامل گازهای حل شده در آب نیز می باشد. گازهای حل شده در محلول، آستانه حباب سازی را کاهش می دهند. نفوذ گاز به داخل حباب اثرات مشابه با نفوذ بخار حلال به داخل حباب را دارد. بنابراین نفوذ گاز به داخل حباب باعث می شود که انهدام حباب ها ملایمتر صورت گیرد و سرعت تخریب کمتر شود. برای گازهایی با  $\gamma$  بالا (نسبت ظرفیت گرمایی در فشار ثابت بر ظرفیت گرمایی در حجم ثابت) تخریب التراسونیک سریعتری را شاهد خواهیم بود [۱۷، ۱۸، ۱۹].

#### ۱-۵-۵- اثر فرکانس امواج التراسونیک

سرعت تخریب ترکیبات آلی با افزایش فرکانس امواج التراسونیک افزایش می یابد. در فرکانس های خیلی پایین اگرچه رادیکالهای هیدروکسیل در داخل حباب تولید می شوند ولی احتمال ترکیب دوباره رادیکالهای هیدروکسیل در داخل حباب بیشتر بوده بنابراین احتمال واکنش رادیکالهای هیدروکسیل با سابستریت کمتر بوده و این باعث کاهش سرعت تخریب می شود. ولی در فرکانس های بالاتر انهدام حبابها با سرعت و شدت بیشتری رخ می دهد و موجب رهایی رادیکالهای هیدروکسیل از حباب می شود. همچنین فرکانس بالا انتقال جرم فاز مایع به فاز بخار را زیاد می کند. این عوامل باعث افزایش سرعت تخریب می شوند. [۲۰].

پارامترهای دیگری مثل فشار بخار حل شونده، ثابت هنری، حلالیت در آب و غلظت ابتدایی

حل شونده نیز بر تخریب التراسونیک تأثیر می گذارند [۲۱، ۲۲].

### ۱-۶- کاربردهای امواج التراسونیک

از امواج التراسونیک در گسترده ی وسیعی از تحقیقات، صنعت، کشاورزی، پزشکی و ... استفاده

می شود که در زیر به چند مورد از کاربردهای این امواج اشاره می گردد:

\* استفاده از التراسونیک در سنتز (آلی، آلی فلزی و معدنی) و شیمی پلیمر (تخریب، آغازگر و

کوپلیمر شدن) [۷]

\* استفاده از امواج التراسونیک برای تمیز کاری، همگن سازی، امولسیون سازی و جوشکاری

پلاستیکی [۲۳]

\* استفاده از امواج التراسونیک برای استخراج برخی مواد غذایی مثل روغن، پروتئین و استخراج

ترکیب فعال زیستی از مواد گیاهی (پلی فنول ها، آنتوسیانین، تار تاریک اسید) و نیز استخراج ترکیب

فعال زیستی از مواد حیوانی [۲۴]

\* استفاده از امواج التراسونیک برای تخریب آلاینده های شیمیایی موجود در آب ها، تصفیه ی

فاضلاب ها و پساب کارخانه ها [۲۵، ۲۶]

### ۱-۷- اثر هم افزایی التراسونیک و دیگر روش های تخریب

اگر چه واکنش های سونوشیمیایی برای تخریب ترکیبات آلی کافی هستند، ولی در بیشتر موارد

ترکیبات آلی به مواد معدنی غیرمضر مثل آب و  $CO_2$  تبدیل نمی شوند. این احتمالاً به این خاطر

است که ترکیبات آلی به دلیل حلالیت بالایی که در آب دارند نمی توانند وارد حبابها شده و در آنجا

با رادیکالهای هیدروکسیل واکنش دهند یا در اثر پیرولیز تخریب شوند. برای غلبه بر این عیوب،

التراسونیک می تواند بادیگر فرآیندهای اکسایش پیشرفته ترکیب شود. در برخی موارد، التراسونیک

برای افزایش کارایی دیگر فرآیندهای تخریب استفاده می شود. اثبات شده که ترکیب  $US/O_3$  بیشترین سرعت تخریب را برای دامنه وسیعی از آلاینده های شیمیایی فراهم می کند [۲۷]. فرآیندهای ترکیبی تولید رادیکال هیدروکسیل را افزایش می دهند و افزایش غلظت رادیکالهای هیدروکسیل منجر به سرعت های بالای اکسایش و تخریب مواد آلی می گردد [۲۶].

#### ۱-۸- بررسی کارهای تجربی انجام شده در زمینه تخریب التراسونیک

فاضلاب شامل فلزهایی است که از فرآیندهای صنعتی گوناگون آزاد می شوند. ولی در حضور عوامل کمپلکس دهنده در فاضلاب، یون فلز با آن ها کمپلکس می دهد. لذا به خاطر میل ترکیبی زیاد عوامل کمپلکس دهنده و یون فلز، استخراج فلز از فاضلاب مشکل است. یکی از این عوامل کمپلکس دهنده، ۵ و ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ - تتراکس (۴- سولفاتوفنیل) پورفیرین  $(H_2TPPS^{4-})$  می باشد که می تواند با فلز سرب کمپلکس  $Pb(TPPS)^{4-}$  را تشکیل دهد. برای استخراج فلز سرب از فاضلاب، تخریب این کمپلکس با امواج التراسونیک انجام شده است [۲۸].

یکی دیگر از عوامل کمپلکس دهنده EDTA<sup>۱</sup> می باشد. حضور EDTA به هنگام آلودگی - زدایی پساب ها می تواند باعث تشکیل کمپلکس با کاتیون های رادیو اکتیو شده و در نتیجه مشکلاتی در انتقال فلزها از پساب ها ایجاد نماید. ترکیب سیستم پراکسید هیدروژن، معرف فنتون و تابش التراسونیک برای تخریب EDTA به کار رفته است [۲۹].

سالیسیلیک اسید یکی از خطرناکترین آلاینده های آلی می باشد. زیرا منجر به یک سری عوارض نامطلوب بر روی انسان و حیوانات می شود. این عوارض شامل نقص مادرزادی و عقب ماندگی ذهنی می باشد. تخریب سونوفوتوکاتالیتیکی سالیسیلیک اسید بر روی پودر تیتانیا انجام شده است [۳۰].