

## تترازول‌ها و کاربرد آن‌ها در فرمولاسیون مواد پرانرژی سبز

یدالله بیات<sup>۱\*</sup>، نفیسه سادات محمودی<sup>۲</sup>

تهران - دانشگاه صنعتی مالک اشتر

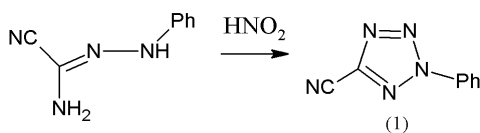
\*E-mail: y\_bayat@mut.ac.ir

(تاریخ وصول: ۸۹/۴/۱۴، تاریخ پذیرش: ۸۹/۷/۵)

### چکیده

تترازول‌ها دسته‌ای از ترکیب‌های هتروسیکل غنی از نیتروژن هستند که به دلیل وجود پیوندهای  $C-N$  و  $N=N$  دارای گرمای تشکیل مثبت، دانسیته و ایمپالس ویژه بالا هستند. این ترکیب‌ها به علت انرژی پتانسیل زیاد و حساسیت به ضربه و اصطکاک کم به عنوان مواد پرانرژی سبز در پیشراندها، تولیدکننده‌های گاز، مواد پیروتکنیک و منفجره‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. این ترکیب توسط روش‌های مختلفی سنتز گردیده است. این ترکیب‌ها علاوه بر استفاده به عنوان مواد پرانرژی، در داروسازی و کشاورزی نیز کاربرد دارند. در این مقاله ابتدا خواص شیمیایی، فیزیکی و روش‌های سنتز تترازول‌ها مورد بررسی قرار گرفته و سپس کاربرد آن‌ها به عنوان یکی از اجزای پیشراندها، مواد منفجره و تولیدکننده‌های گاز مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** تترازول، گاز زراتور، پیشرانده، مواد منفجره، مواد پرانرژی سبز، ترکیب‌های غنی از نیتروژن.



### ۱- مقدمه

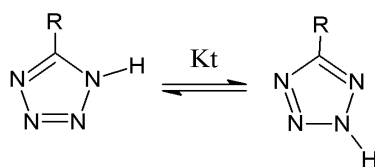
ترکیب یک حلقه‌ای ۲- فنیل - ۵- سیانو تترازول برای اولین بار در سال ۱۸۸۵ توسط بلادین<sup>۲</sup> در دانشگاه ایسلاوی<sup>۴</sup> سوئد طبق شکل (۱)

سنتز ضمیمه.

شکل ۱- واکنش سنتز ۲- فنیل - ۵- سیانو تترازول توسط بلادین<sup>۲</sup>.

## ۲-۱- توتومری

ساختار تترازول خنثی به صورت یک هتروسیکل کاملاً مزدوج و آروماتیک است و به صورت ایزومرهای تعادلی وجود دارد (شکل ۱). در فاز گازی توتومر ۲ و در فاز محلول توتومر ۱ غالب هستند.



توتومر ۱

توتومر ۲

شکل ۴- ایزومرهای تعادلی تترازول [۵].

## ۲-۲- پیوند هیدروژنی

مهم‌ترین نیروی بین مولکولی تترازول‌ها که باعث افزایش نقطه ذوب آن‌ها می‌شود، قابلیت تشکیل پیوند هیدروژنی در تترازول‌های دارای ح، بین ح پیرولی حلقه با نیتروژن‌های پیریدینی می‌باشند.

## ۲-۳- ممان دو قطبی

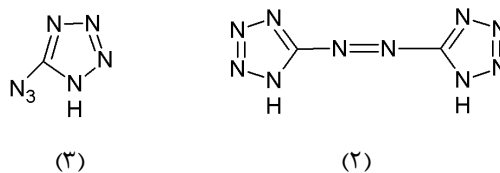
ممان دو قطبی ۲ و ۱ تترازول‌ها با هم متفاوت است. ممان دو قطبی تترازول استخلاف دار در موقعیت ۱ حدود ۲/۴ برابر ایزومر آن یعنی تترازول استخلاف دار در موقعیت ۲ می‌باشد. محاسبات تئوری نشان می‌دهد که قطبیت ۱ تترازول زمانی بیشتر از ۲ تترازول است که روی اتم کربن آن استخلاف الکترون دهنده، الکترون کشنده یا خنثی باشد. اما هر چه قدرت الکترون کشنده بیشتر باشد، مقدار ممان دو قطبی فرم ۲ بیشتر شده و مقدار ممان دو قطبی فرم ۱ کاهش می‌یابد. در ۵-نیترو تترازول توتومر ۲ قطبی تر است.

## ۲-۴- اسیدیتنه

تترازول‌ها در مقایسه با سایر آزل‌ها دارای اسیدیتنه بالای غیر عادی و قدرت بازی بسیار ضعیف می‌باشند. تترازول بدون استخلاف به عنوان یک اسید آلی رفتار اسیدی مشابه استیک اسید دارد (۴/۸۹ آ ج).

ض ۹ و ۵.

در ادامه از ترکیب (۱)، ۲- (۴- آمینو فنیل) ۵- کربوکسی تترازول را ساخت و آن را با پتاسیم پرمنگنات اکسید کرد و توانست تترازول بدون استخلاف را تولید کند. بعدها افراد دیگری توانستند ترکیب‌های (۲) و (۳) را سنتز کنند (شکل ۲) [۲]:



(۳)

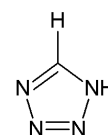
(۲)

شکل ۲- ساختار دو ترکیب سنتز شده از مشتقات تترازول [۲].

حلقه تترازول دارای مقادیر زیادی انرژی پتانسیل می‌باشد [۲].

## ۲- شیمی تترازول

در این بخش شیمی تترازول‌ها از جمله: توتومری، ممان دو قطبی، اسیدیتنه، بازیستنه، نیروهای بین مولکولی، همچنین نحوه نام‌گذاری تترازول‌ها و بررسی خواص فیزیکی آن بررسی می‌گردد. تترازول‌ها دسته از مواد سنتزی هتروسیکل آلی هستند که شامل یک حلقه پنج عضوی دارای چهار اتم نیتروژن و یک اتم کربن می‌باشند. ساده‌ترین آن‌ها خود تترازول می‌باشد که دارای فرمول مولکولی  $C_2H_2N_4$  است (شکل ۳). نیتروژن‌های موجود در حلقه تترازول شامل سه اتم نیتروژن شبه پیریدین و یک اتم نیتروژن شبه پیرولی است. تترازول شش الکترون  $\pi$  غیر مستقر دارد و آروماتیک می‌باشد و بالاترین پتانسیل یونش را در بین سایر آزل‌ها دارد. حلقه تترازول به علت پایین بودن تراز هوموی آن، در مقابل اکسید کننده‌های قوی مقاوم است. تترازول به صورت پودر کریستالی سفید تا زرد کم‌رنگ، با دانسیته ۱/۴۴۷، دارای دمای ذوب  $157-155^\circ C$ ، جرم مولی ۷۰/۰۵ و  $4/9 =$  جگ می‌باشد.



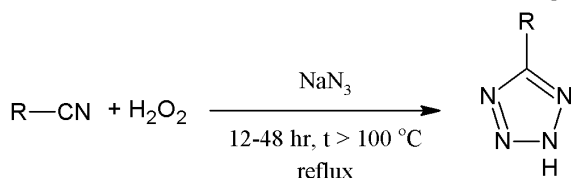
شکل ۳- ساختار مولکول تترازول.

### ۳- روش‌های سنتز حلقه تترازول

عمده‌ترین روش‌های سنتز حلقه تترازول، حلقه‌افزایی آزید به نیتریل‌ها می‌باشند. این دسته از واکنش‌ها به طرق مختلف و با شرایط و واکنشگرهای متفاوت انجام شده‌اند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم.

#### ۳-۱- سنتز تترازول‌ها با استفاده از H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

از معایب این روش دمای بالا، زمان زیاد و راندمان پایین می‌باشد (شکل ۷).

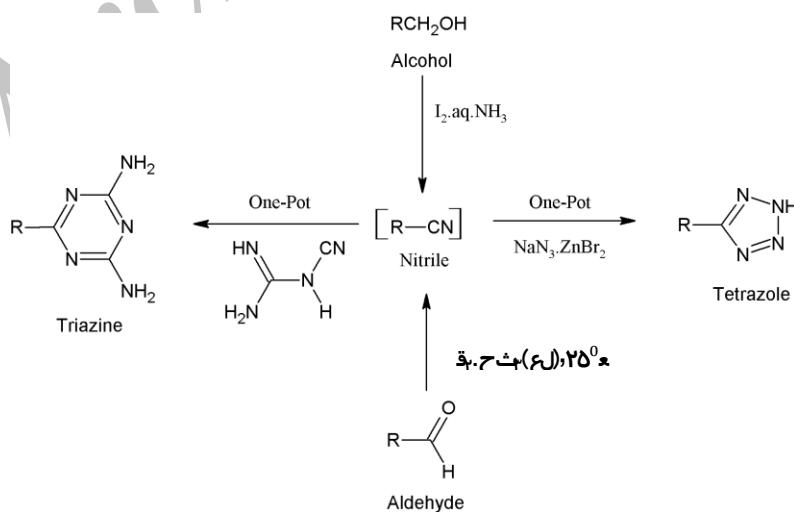


شکل ۷- واکنش تهیه تترازول با استفاده از نیتریل و آزید

#### ۳-۲- سنتز تترازول‌ها با استفاده از الکل یا آلدئید در

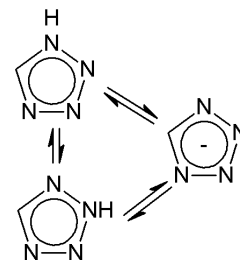
##### مجاورت میکروویو

در این روش دما و زمان به طور قابل توجهی نسبت به روش قبلی کاهش یافته و محصول با خلوص و راندمان بالا تولید می‌شود. اما این روش این است که فقط در مقیاس آزمایشگاهی قابل انجام است و تاکنون صنعتی نشده است (شکل ۸).



شکل ۸- واکنش تهیه تترازول با استفاده از میکروویو [۱۱].

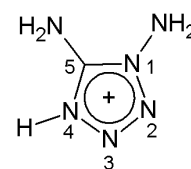
حذف پروتون از تترازول‌ها تشکیل آنیون تترازولات می‌دهد که دارای آروماتیسیته بالا و الکترون‌های پای غیر مستقر خوب هستند (شکل ۵).



شکل ۵- حذف پروتون از تترازول

#### ۲-۵- بازیسیته

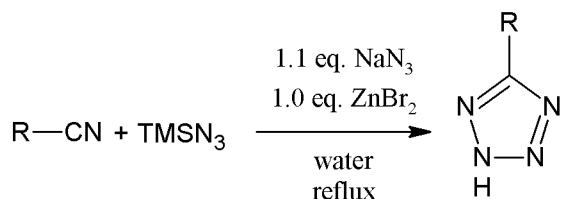
قدرت بازی و پروتون دار شدن تترازول‌ها بستگی به نوع استخلاف دارد. مثلاً در ۱،۵- دی آمینو تترازول موقعیت ۴ حلقه (نیتروژن حلقه) بهتر از گروه آمینی پروتون دار می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶- پروتون دار شدن ۱،۵- دی آمینو تترازول

### ۳-۳- سنتز تترازول‌ها با استفاده از ایزوسیانید و هیدرازوئیک اسید

واکنش اسید-کاتالیست حلقه افزایشی<sup>۲</sup> بین هیدرازوئیک اسید و ایزوسیانیدها یکی از اصلی‌ترین روش‌های سنتز تترازول استخلاف شده در موقعیت ۱ می‌باشد. اما این روش استاندارد نیاز به استفاده مستقیم از مقدار زیادی ماده سمی و خطرناک<sup>۳</sup> دارد. همچنین راندمان پایین و زمان زیاد واکنش از معایب این روش می‌باشد (شکل ۱۱)<sup>۴</sup>.

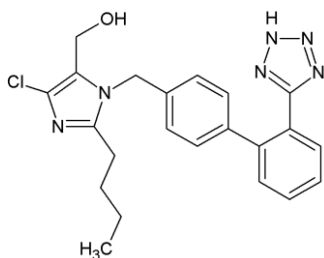


شکل ۱۱- واکنش تهیه تترازول با استفاده از سدیم آزید و نیتریل<sup>۵</sup>.

### ۴- کاربردهای تترازول‌ها

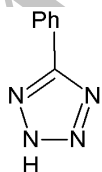
#### ۴-۱- کاربردهای زیستی تترازول‌ها

مشتقات تترازول در داروسازی به عنوان آنتی بیوتیک، تنظیم کننده فشار خون، کاهنده چربی و گلوکز، ضد تومور، ضد آلرژی، ضد ویروس، ضد قارچ و ضد میکروب استفاده شده و همچنین در صنایع کشاورزی نیز کاربرد دارند (شکل ۱۲)<sup>۶</sup>.



لوزارتان<sup>۲</sup>

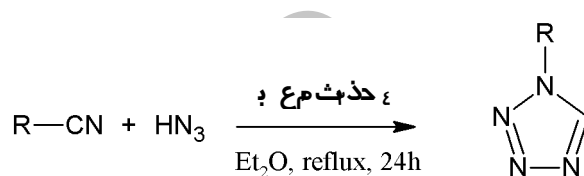
داروی ضد فشار خون بالا



۵- فنیل-ت-تترازول<sup>۳</sup>

جهت رشد گیاهان

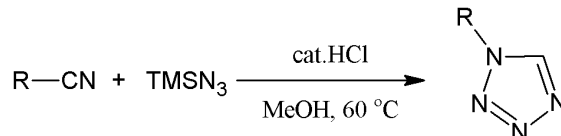
شکل ۱۲- نمونه‌هایی از مشتقات تترازول دارای فعالیت زیستی [۱۹-۱۵].



شکل ۹- واکنش تهیه تترازول با استفاده از هیدرازوئیک اسید و ایزونیتریل<sup>۷</sup>.

### ۳-۴- سنتز تترازول‌ها با استفاده از ایزوسیانید و تری متیل سیلیل آزید<sup>۱</sup>

در این روش، یک واکنش اسید-کاتالیست حلقه افزایشی<sup>۲</sup> بین ایزوسیانید و تری متیل سیلیل آزید، در حضور متانول انجام می‌گیرد و تترازول استخلافدار شده در موقعیت ۱ با راندمان بالاتری نسبت به روش قبلی حاصل می‌شود (شکل ۱۰)<sup>۸</sup>.



شکل ۱۰- واکنش تهیه تترازول با استفاده از نیتریل و تری متیل سیلیل آزید<sup>۹</sup>.

### ۳-۵- سنتز تترازول‌ها با استفاده از سدیم آزید و نیتریل و حلال آب

در این روش محلول آبی به رومید روی با آت<sup>۱۰</sup> در حضور سدیم آزید کمی قلیایی می‌شود (آت<sup>۱۱</sup>) و مقدار هیدرازوئیک اسید، به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد. استفاده از این روش آسان و راندمان بالا است (شکل ۱۳)<sup>۱۲</sup>.

مواد پرنرژي کلاسیک معایبی از نظر پایداری و ایمنی دارند و از این رو خطراتی نیز برای سلامتی با به همراه دارند. این مواد اغلب حساسیت زیادی به شوک یا ضربه دارند و این امر استفاده از آنها را با خطرات زیادی همراه می‌کند.

شیمی سبز مواردی را در زمینه مواد پرنرژي مطرح کرده که منجر به رفع معایب فوق و توسعه مواد پرنرژي جدید شده است.

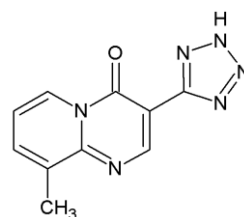
مواد پرنرژي جدید اکثراً شامل ترکیب‌های نیترو بر پایه نیترات استرها، نیترامین‌ها، ترکیبات آزیدو، آزیدو نیترات‌ها، آزیدو نیترامین‌ها و ترکیب‌های چند حلقه‌ای می‌باشند. علاوه بر این‌ها دسته دیگری از ترکیب‌های نیترو به عنوان اجزای سازنده پیشرانده و مواد منفجره نیز معرفی شده‌اند که شامل تترازول‌ها، تری آزین‌ها، ترکیب‌ها کثوردیناسیون نمک‌های فلزی هیدرازین و کربوهیدرازین می‌باشند<sup>۱</sup>. در سال‌های اخیر شیمی ترکیبات غنی از نیتروژن<sup>۲</sup> نقطه عطفی در زمینه مواد پرنرژي به وجود آورده است.

در این ترکیب‌ها اتم‌های نیتروژن به صورت مجاور قرار گرفته‌اند و در نتیجه احتراق گاز **ح ح** تولید می‌کنند. تبدیل نیتروژن‌های مجاور به **ح ح** با آزاد شدن انرژی اضافی حاصل از اختلاف انرژی پیوندهای **ح ح** و **ح ح** با انرژی پیوند **ح ح** همراه است.

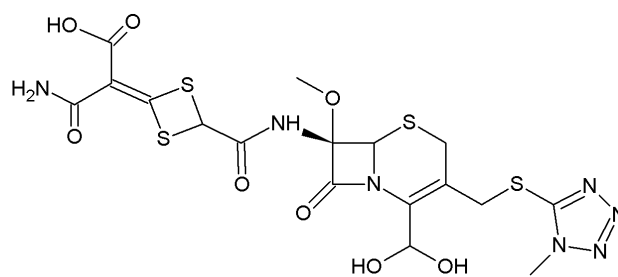
بر اساس اصول شیمی سبز، چرخه عمر ضایعات تولید شده در صنعت، آزمایش و انبار این مواد باید به حداقل برسد. همچنین محصولات آلوده کننده احتراق و اکسیداسیون این مواد باید با محصولات پاک و سازگار با محیط زیست جایگزین شوند.

با در نظر گرفتن این موارد پژوهشگران موادی تحت عنوان مواد دارای دانسیته انرژی زیاد<sup>۳</sup> را مورد توجه قرار دادند. افزایش دانسیته مواد پرنرژي، عملکرد آنها را افزایش می‌دهد. برای دستیابی به دانسیته بالاتر، ساختار مواد به گونه‌ای اصلاح شده که قفس‌ها یا گروه‌هایی با مقادیر زیادت، **د** و **ح** تشکیل شوند.

یکی از مزایای اصلی ترکیب‌های غنی از نیتروژن تولید گاز **ح ح** به عنوان محصول اصلی اکسایش یا تجزیه است و به ازاء هر گرم از ترکیب، حجم زیادی از گاز **ح ح** تولید می‌شود. گاز **ح ح** سازگار با محیط زیست است و آلودگی محیط زیست و خطراتی که برای سلامتی در مورد مواد پرنرژي کلاسیک مطرح است در این مورد از بین می‌رود. از



پی میرولاست<sup>۱</sup>  
داروی ضد آلرژی



سفوتان<sup>۲</sup>  
آنتی بیوتیک

ادامه شکل ۱۲- نمونه‌هایی از مشتقات تترازول دارای فعالیت دارویی [۱۹-۱۵].

از دیگر کاربردهای تترازول‌ها استفاده به عنوان مواد منفجره (اولیه و ثانویه)، پیروتکنیک‌ها (مواد آتش بازی)، پیشرانده‌ها (گاز ژنراتورها، پیشرانده اسلحه و پیشرانده موشک) و حفاری تونل بوده و همچنین در عکاسی و فیلم برداری (به عنوان مقاوم کننده هالید نقره در برابر تار شدن در نگهداری طولانی مدت و به عنوان افزودنی به مواد رنگی عکاسی و افزایش وضوح) و مقاومت در برابر خوردگی فلزهایی نظیر مس و برنج کاربرد دارد.

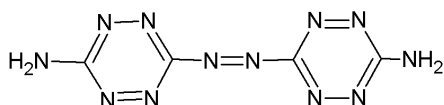
#### ۴-۲- کاربرد تترازول‌ها در مواد پرنرژي

یک ماده پرنرژي ایده‌آل باید قوی و ایمن باشد. یعنی در حالی که قدرت زیادی دارد، حساسیت آن کم باشد و جابجایی آن نیز راحت و ایمن انجام شود. امکان نگهداری طولانی مدت در هر محیطی هم از جمله شرایط دیگر برای یک ماده پرنرژي ایده‌آل است. اما بسیاری از

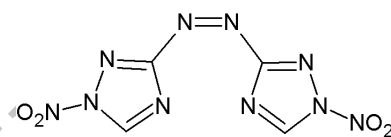
گرمای تشکیل این مواد به دلیل تعداد زیاد پیوند **ح-ح** و **ح-ن** در ساختار آنها است (شکل ۱۳). هر چه محتوای نیتروژن ترکیب بیشتر باشد، گرمای تشکیل آنها بالاتر و عملکرد آنها نیز بهتر خواهد **بیشتر**.

تترازولها نیز جزء این دسته هستند (شکل ۱۴). چند نمونه از آغازگرهای بر پایه تترازول در شکل ۱۵ نشان داده شده است **ض ۲۶-هن**.

طرفی محصولات گازی حاصل از تجزیه ترکیبهای غنی از نیتروژن ذاتا خنکتر از محصولات گازی مواد پراثری متعارف هستند. این ترکیبها به دلیل داشتن شبکههای وسیع پیوند هیدروژنی در حالت جامد، دارای پایداری بالایی بوده و حساسیت آنها به ضربه، شوک، اصطکاک و برخورد کم **انض ۱۱**. در ترکیبهای پراثری با محتوای نیتروژن بالا<sup>۱</sup> اتمهای نیتروژن به صورت مجاور قرار گرفتهاند و در نتیجه احتراق، گاز **ح** تولید نمی‌نمایند.

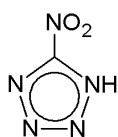


۳، ۳- آزو بیس (۶- آمینو- ۵، ۴، ۲، ۱- تترازین)

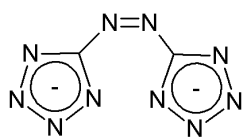


۱، ۱- دی نیترو- ۳، ۳- آزو- ۴، ۲، ۱- تری آزول

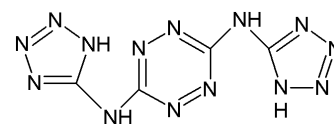
شکل ۱۳- چند ساختار از گروه ذ ذپت- **بیشتر**.



۵- نیترو تترازول

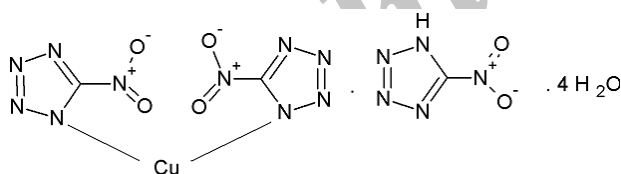


دی آنیون ۵، ۵- آزو بیس تترازول



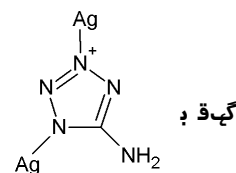
ایل ۵- ۱- ۴، ۳، ۲، ۱- تترازول-**بیس** (۶، ۳- آمینو)- ۵، ۴، ۲، ۱- تترازین

شکل ۱۴- ذ ذپت- **بج**ت بر پایه تترازول **ض ۲۴-هن**.



**ارح:**

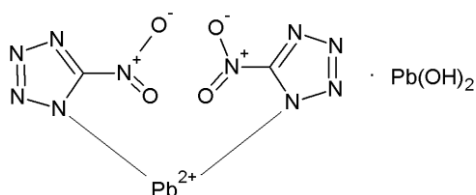
نمک مس ۵- آمینو تترازول  
(به عنوان ماده منفجره اولیه)



**گب**د

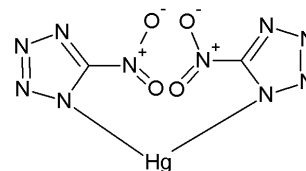
**خ راد**

دی نقره آمینوتترازول پرکلرات  
(به عنوان ماده منفجره اولیه و در چاشنی گلولهها)



**حج**

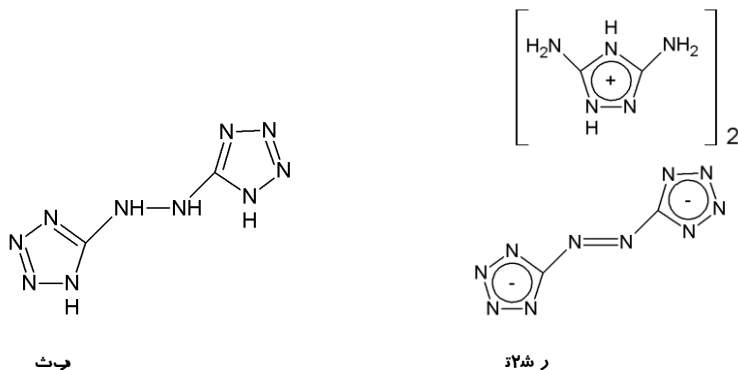
(نمک بازی سرب نیترو تترازول)



**ار حث**

جیوه نیترو تترازول  
(به عنوان ماده منفجره اولیه در بوستر و کپسولهای انفجاری)

شکل ۱۵- نمونههایی از مواد منفجره بر پایه تترازول [۲۵-۲۶].



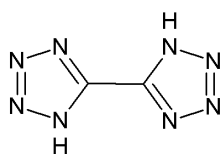
ادامه شکل ۱۵ - نمونه‌هایی از مواد منفجره بر پایه تترازول [۲۶-۲۵].

این مواد، موادی بر پایه اکسیدانت و سوخت هستند که برای آتش بازی و اهداف نظامی کاربرد دارند. مثلاً مخلوطی از سوخت گوگردی و اکسیدان پتاسیم نیترات توسط گرم کردن خاصیت پیروتکنیک پیدا می‌کند اما این مواد دودزا بوده و مشکلات زیست محیطی دارند. برای رفع این معایب از ترکیبات غنی از نیتروژن استفاده می‌کنند. به عنوان مثال مخلوط کمی از ترکیب‌های غنی از نیتروژن با مقدار کمی استرانسیوم سرعت سوختن را زیاد کرده و تولید رنگ زیبا و دود کم می‌کند. نمک‌های بر پایه تترازول، به یس تترازول، به یس تترازول آمین، به یس تترازولیل آمین تترازین به عنوان مواد پیروتکنیک در آتش بازی و منورها کاربرد دارند (شکل ۱۶). همچنین نمک‌های آمینو تترازول با فلزات غیر سمی مانند **ب ع د**، **ج ع ح ف چ** تولید رنگ‌های قرمز، نارنجی، پنفش، ارغوانی و صورتی در شعله می‌کند [۲۸-۲۹]. از دیگر موارد، ۵،۵-بیس **ث** تترازول و نمک‌های آن می‌باشد که کاندیدای خوبی برای سوخت‌های پیروتکنیک کم دود می‌باشند [۳۰].

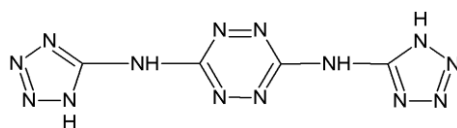
**ر ب ث** و نمک‌های آن با **غ ث**، **ع خ** و **ب** ویژگی مواد منفجره اولیه را دارند. نمک‌های **ر ب ث** با **ع خ** قوی‌ترین ماده منفجره اولیه است که عملکرد آن قابل مقایسه با مواد پر کاربردی چون **س پ ث** یا **۲۰-ج** است. مواد منفجره بر پایه تترازول در مقایسه با مواد منفجره کلاسیک مانند **ر ح** دارای مزیت‌هایی هستند. در این مواد به جای تولوئن از تترازول استفاده شده است که فقط یک اتم کربن دارد. این مواد پراثری‌اند و پایداری گرمایی زیادی دارند. در کل تترازول‌ها دارای پایداری بیشتر، کیفیت انفجار بهتر، تجزیه تمیزتر و سنتز آسان‌تر هستند. همچنین مواد منفجره بر پایه تترازول بعد از انفجار تولید گاز **ح ه** می‌کند که با محیط زیست سازگار است.

#### ۴-۳- کاربرد تترازول‌ها در پیروتکنیک‌ها

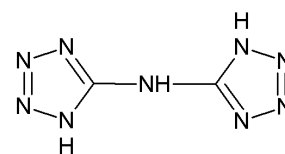
پیروتکنیک‌ها موادی هستند که قدرت انفجاری چندانی ندارند و فقط برای ایجاد نور، صدا و دود مورد استفاده قرار می‌گیرند.



بیس تترازول



بیس تترازولیل آمینو تترازین



بیس تترازول آمین

شکل ۱۶ - نمونه‌هایی از پیروتکنیک‌ها بر پایه تترازول [۲۹-۲۸].

## ۴-۴- کاربرد تترازول ها در پیشرانها

فرمولاسیون این نتیجه به دست آمد که استفاده از ۱- اتیل- ۵- اتیل- آمینو تترازول در فرمولاسیون ب، شکنندگی را کاهش و انعطاف پذیری را نسبت به فرمولاسیون A افزایش می دهد.

جدول ۱- فرمولاسیون یک پیشران حاوی ترکیبهای تترازولین.

ترکیب	درصد وزنی
۵- آمینو تترازول نیترات	۸۵
پلی ایزو پرن	۱۲/۷۵
روغن کنکو <sup>۱</sup>	۲/۲۵
پارا کینون دی اکسید	۰/۰۶

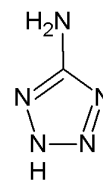
در جدول (۲) دو نمونه از فرمولاسیون پیشرانه جت آورده شده است که در فرمولاسیون A از اتیل سنترالیست و در فرمولاسیون ب به جای آن از مشتقی از تترازول استفاده شده است. با مقایسه این دو فرمولاسیون این نتیجه به دست آمد که استفاده از ۱- اتیل- ۵- اتیل- آمینو تترازول در فرمولاسیون ب، شکنندگی را کاهش و انعطاف پذیری را نسبت به فرمولاسیون A افزایش می دهد.

جدول ۲- دو نمونه از فرمولاسیون پیشرانه جت حاوی ترکیبهای تترازولین.

محتوی	درصد وزنی A	درصد وزنی ب
نیتروسولوز (۱۳/۶٪ ح)	۱۹/۱	۲۹/۸۴
نیترو گلیسرین	۱۸/۶	۷/۸۶
نیترو گوانیدین	۳۴/۸	۶۴/۸
اتیل سنترالیست	۷/۵	۰/۰
۱- اتیل- ۵- اتیل- آمینو تترازول	۰/۰	۷/۵
نسبت نیتروسولوز به پلاستی سائزر	۰/۷۳-۱/۰	۱/۰-۱/۹۴

پیشرانها اغلب فرمولاسیونهایی از مواد منفجره هستند که پس از تحریک منجر به احتراق سریع و بدون انفجار می شوند و حجم زیادی از گازهای داغ را تولید می کنند. این گازها می توانند سبب حرکت گلوله، موشک و یا انجام کار مکانیکی گردند. پیشرانها را می توان با توجه به نوع کاربری آنها به سه گروه پیشرانه اسلحه، پیشرانهای موشک و پیشرانهای مولد گاز دسته بندی نمود. پیشرانهای مدرن دارای ویژگیهایی هستند که از آن جمله: استحکام فیزیکی خوب، بدون دود بودن، بدون شعله بودن، قدرت و سرعت انفجار بالا و سازگاری با محیط زیست است. پیشرانهای بدون دود فعلی معایبی دارند مانند اینکه محتوای انرژی بالایی دارند و دمای زیادی را طی واکنش ایجاد می کنند و در لوله تفنگ فرسایش زیادی ایجاد می کنند و طول عمر آن را کاهش می دهند. پیشرانهای بدون شعله نیز معایبی دارند. این پیشرانها با افزودن مقداری اجزای بی اثر حاصل می شوند. این مواد مقدار زیادی گازهای سمی مانند آمونیاک طی احتراق تولید می کنند و بدون دود نیستند. استفاده از تترازولها اهداف بدون نور و بدون دود بودن را تأمین می کند.

آمینو تترازول در میان عوامل کاهش دهنده نور بی همتاست و تولید دود زیاد نمی کند و تمامی شرایط لازم برای پیشرانهای استاندارد و مدرن را دارا می باشد (شکل ۱۷ ضمیمه).

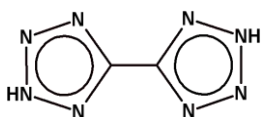


شکل ۱۷- ساختار آمینو تترازولین.

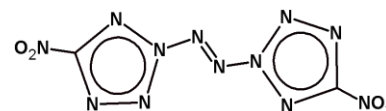
در جدولهای (۱) و (۲) به دو نمونه از فرمولاسیونهای پیشرانه شامل مشتقات تترازول نشان داده شده است.

در جدول (۲) دو نمونه از فرمولاسیون پیشرانه جت آورده شده است که در فرمولاسیون A از اتیل سنترالیست و در فرمولاسیون ب به جای آن از مشتقی از تترازول استفاده شده است. با مقایسه این دو

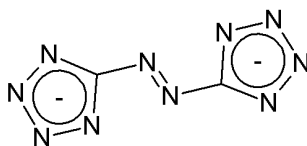
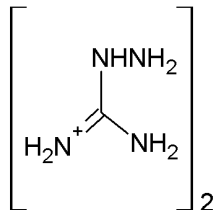




۵، ۵- بیس تترازول



۱، ۱- آزوبیس- (۳- نیترو- ۵،۴،۲،۱- تترازول)



آزیدو فرمامیدینیوم و نمک گوانیدینیوم - ۵،۵- آزوتترازولات

شکل ۱۸- نمونه‌هایی از مولدهای گاز پایه تترازولین.

در جدول (۳) یک نمونه از فرمولاسیون گاز ژنراتور آورده شده است.

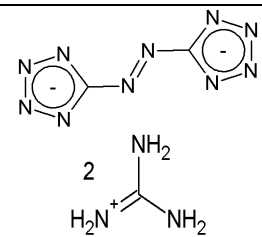
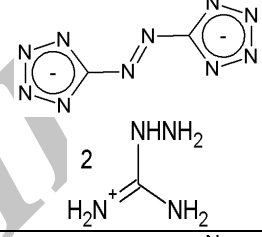
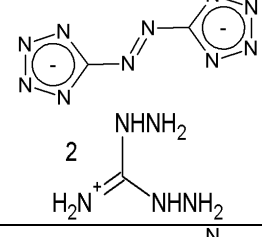
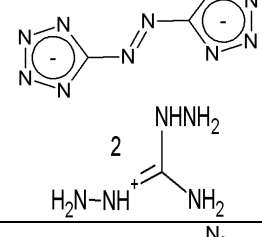
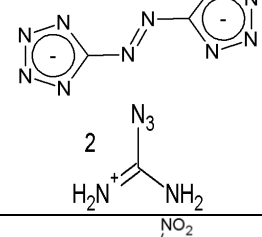
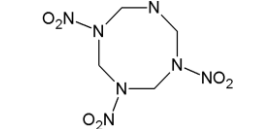
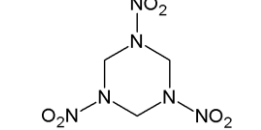
جدول ۳- یک نمونه از فرمولاسیون گاز ژنراتور پایه تترازولین.

درصد وزنی	محتوی
۷۱/۵	۵- آمینوتترازول نیترات (اکسیدان)
۸/۵	تری آمینو گوانیدین نیترات (ح قار)
۲۰/۰	بایندر: (۴۵٪ ۱- متیل- ۵- وینیل تترازول ۴۵٪ متوکسی اتیل- متیل- تترازول ۶٪ اتیلن دی متیل اکریلات ۴٪ کیومن هیدرو پراکسید)

همچنین ترکیب‌هایی با نام‌های **رشد ۳، رشد ۴، رشد ۵، رشد ۶، رشد ۷، رشد ۸، رشد ۹، رشد ۱۰، رشد ۱۱، رشد ۱۲، رشد ۱۳، رشد ۱۴، رشد ۱۵، رشد ۱۶، رشد ۱۷، رشد ۱۸، رشد ۱۹، رشد ۲۰، رشد ۲۱، رشد ۲۲، رشد ۲۳، رشد ۲۴، رشد ۲۵، رشد ۲۶، رشد ۲۷، رشد ۲۸، رشد ۲۹، رشد ۳۰، رشد ۳۱، رشد ۳۲، رشد ۳۳، رشد ۳۴، رشد ۳۵، رشد ۳۶، رشد ۳۷، رشد ۳۸، رشد ۳۹، رشد ۴۰، رشد ۴۱، رشد ۴۲، رشد ۴۳، رشد ۴۴، رشد ۴۵، رشد ۴۶، رشد ۴۷، رشد ۴۸، رشد ۴۹، رشد ۵۰** مولد گاز می‌باشند که ساختار و خواص آن‌ها در مقایسه با مواد پراورزی معروفی مانند **سپت و سپد** در جدول (۴) نشان داده شده است.

ترکیب‌هایی که به عنوان سوخت در سیستم‌های مولد گاز استفاده می‌شوند به دو گروه سوخت‌های اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. به عنوان مثال ۵- فرمامید تترازول در ترکیب با آمونیوم نیترات، تولید انرژی زیاد و مقدار زیادی گاز می‌کند. این ترکیب پایداری گرمایی ندارد و به عنوان سوخت اولیه در کیسه هوای اتومبیل و صندلی خروج هواپیما به کار می‌رود. سوخت‌های ثانویه وقتی با آمونیوم نیترات ترکیب می‌شوند، دارای پایداری گرمایی هستند. این سوخت‌ها شامل دی آمونیوم بی تترازول، منو آمونیوم بی تترازول آمین، ۵- آمینو تترازول نیترات، تترازول بی تترازول‌هایی مانند ۵- نیترو تترازول و ۵، ۵- بی تترازول و ... می‌باشند [۳۴-۳۷]. سدیم کلرات در ترکیب با ۵- آمینو تترازول و ۲،۴- دی نیترو فنیل هیدرازون همچنین نمک‌های ۱،۵- دی آمینو تترازول در ترکیب با آمونیوم نیترات تولید ترکیبات خود افروزش برای سیستم‌های مولد گاز می‌کنند [۳۷-۳۸].

جدول ۴- چند نمونه ترکیب مولد گاز و مقایسه خواص آن‌ها - ص ۴۳.

ضریب اصطکاک (ح)	ضریب فشار (ج)	سرعت (ق/ج)	حساسیت به فشار (ک-گ)	حساسیت به اصطکاک (Kp)	گرمای تشکیل (ق/ق)	دانسیته (گ/ع)	نام	ساختار
۳۰۰	۳۲	۹۷۵	۰/۷۵	۳۶/۰	۹۸	۱/۵۳۸	رشد ت	
۳۶۰	۱۵	۹۹۹	۰/۷	۳۶/۰	۱۰۴	۱/۵۴۰	رشد تا	
۳۶۰	۴	۱۰۲۶	ط	ط	۱۶۹/۴	۱/۵۹۹	رشد تاب	
۶۰	۴	۱۰۵۶	-/۱۶ ۰/۱۵	۱۰/۸	۲۵۷	۱/۶۰۲	رشد تار	
۱۲	۳	۹۱۱	-	-	۲۷۴/۸	۱/۶۲۴	رشد ا	
-	-	۹۵۷	۰/۷۵	-	۶۰/۴	۱/۹۶	سپت	
-	-	۹۵۷	۱/۷۵	-	۷۶/۱	۱/۸۲	سپد	

در جدول (۵) یک نمونه دیگر از فرمولاسیون گاز ژنراتور جامد آورده شده است که در اثر احتراق تولید مقادیر زیادی گاز هیدروژن می‌کند. محصولات تولیدی این فرمولاسیون در جدول (۶) نشان داده شده است.

### ۵- نتیجه گیری

تترازول‌ها دسته‌ای از ترکیبات هتروسیکل هستند که به علت داشتن انرژی پتانسیل زیاد، حساسیت کم به ضربه و اصطکاک، داشتن دانسیته بالا نسبت به سایر ترکیبات آلی و داشتن گرمای انفجار زیاد پتانسیل خوبی را برای استفاده در پیشرانه‌ها، تولید کننده‌های گاز، پیرو تکنیک‌ها و مواد منفجره دارند. همچنین به دلیل داشتن درصد نیتروژن بالا، پس از احتراق تولید مقادیر زیادی گاز  $H_2$  می‌کنند و به همین دلیل آلودگی کمی برای محیط زیست داشته و جزء مواد منفجره سبز به حساب می‌آیند. این ترکیبات به دلیل سمیت کمتر، تولید دود کمتر و قدرت بیشتر جایگزین مناسبی برای  $RH$  هستند. از میان روش‌های سنتز ارائه شده مناسب‌ترین روش سنتز، روش استفاده از سدیم آزید، نیتریل و حلال آب می‌باشد که دارای مزایایی چون راندمان بالا، جلوگیری از آزاد شدن هیدرازوئیک اسید و استفاده از آب به عنوان حلال می‌باشد.

به نظر می‌رسد که تترازول‌ها به دلیل داشتن پتانسیل شیمیایی و محتوای نیتروژن بالا، نداشتن مشکلات زیست محیطی و سمیت کم، آینده خوبی برای کاربردهای نظامی از جمله ساخت مواد منفجره، پیروتکنیک و پیشرانه را دارا می‌باشد.

جدول ۵- فرمولاسیون هیدروژن ژنراتور جامد

ترکیب	درصد وزنی
تری آمینو گوانیدین نیترات	۴۵
تری آمینو گوانیدین-۵-آمینو تترازول	۲۵
پلی استر	۱۳/۲
یزوسیانات	۱/۸
تری متیلول اتان تری نیترات	۱۵

جدول ۶- محصولات حاصل از احتراق هیدروژن ژنراتور موجود در جدول (۵)

محصولات تولیدی	پت	حپت	ح۲	ح۳	ح۴	پ (جامد)
درصد تولید	۴۱/۱	۱/۳	۲۴/۴	۰/۶	۳۱/۲	۰/۳

### مراجع

۱. [www.sid.ir](#)
۲. [www.sid.ir](#)
۳. [www.sid.ir](#)
۴. [www.sid.ir](#)
۵. [www.sid.ir](#)
۶. [www.sid.ir](#)
۷. [www.sid.ir](#)
۸. [www.sid.ir](#)
۹. [www.sid.ir](#)
۱۰. [www.sid.ir](#)
۱۱. [www.sid.ir](#)
۱۲. [www.sid.ir](#)
۱۳. [www.sid.ir](#)
۱۴. [www.sid.ir](#)
۱۵. [www.sid.ir](#)
۱۶. [www.sid.ir](#)
۱۷. [www.sid.ir](#)
۱۸. [www.sid.ir](#)
۱۹. [www.sid.ir](#)
۲۰. [www.sid.ir](#)
۲۱. [www.sid.ir](#)
۲۲. [www.sid.ir](#)
۲۳. [www.sid.ir](#)
۲۴. [www.sid.ir](#)
۲۵. [www.sid.ir](#)
۲۶. [www.sid.ir](#)
۲۷. [www.sid.ir](#)
۲۸. [www.sid.ir](#)
۲۹. [www.sid.ir](#)
۳۰. [www.sid.ir](#)
۳۱. [www.sid.ir](#)
۳۲. [www.sid.ir](#)
۳۳. [www.sid.ir](#)
۳۴. [www.sid.ir](#)
۳۵. [www.sid.ir](#)
۳۶. [www.sid.ir](#)
۳۷. [www.sid.ir](#)
۳۸. [www.sid.ir](#)
۳۹. [www.sid.ir](#)
۴۰. [www.sid.ir](#)
۴۱. [www.sid.ir](#)
۴۲. [www.sid.ir](#)
۴۳. [www.sid.ir](#)
۴۴. [www.sid.ir](#)
۴۵. [www.sid.ir](#)
۴۶. [www.sid.ir](#)
۴۷. [www.sid.ir](#)
۴۸. [www.sid.ir](#)
۴۹. [www.sid.ir](#)
۵۰. [www.sid.ir](#)
۵۱. [www.sid.ir](#)
۵۲. [www.sid.ir](#)
۵۳. [www.sid.ir](#)
۵۴. [www.sid.ir](#)
۵۵. [www.sid.ir](#)
۵۶. [www.sid.ir](#)
۵۷. [www.sid.ir](#)
۵۸. [www.sid.ir](#)
۵۹. [www.sid.ir](#)
۶۰. [www.sid.ir](#)
۶۱. [www.sid.ir](#)
۶۲. [www.sid.ir](#)
۶۳. [www.sid.ir](#)
۶۴. [www.sid.ir](#)
۶۵. [www.sid.ir](#)
۶۶. [www.sid.ir](#)
۶۷. [www.sid.ir](#)
۶۸. [www.sid.ir](#)
۶۹. [www.sid.ir](#)
۷۰. [www.sid.ir](#)
۷۱. [www.sid.ir](#)
۷۲. [www.sid.ir](#)
۷۳. [www.sid.ir](#)
۷۴. [www.sid.ir](#)
۷۵. [www.sid.ir](#)
۷۶. [www.sid.ir](#)
۷۷. [www.sid.ir](#)
۷۸. [www.sid.ir](#)
۷۹. [www.sid.ir](#)
۸۰. [www.sid.ir](#)
۸۱. [www.sid.ir](#)
۸۲. [www.sid.ir](#)
۸۳. [www.sid.ir](#)
۸۴. [www.sid.ir](#)
۸۵. [www.sid.ir](#)
۸۶. [www.sid.ir](#)
۸۷. [www.sid.ir](#)
۸۸. [www.sid.ir](#)
۸۹. [www.sid.ir](#)
۹۰. [www.sid.ir](#)
۹۱. [www.sid.ir](#)
۹۲. [www.sid.ir](#)
۹۳. [www.sid.ir](#)
۹۴. [www.sid.ir](#)
۹۵. [www.sid.ir](#)
۹۶. [www.sid.ir](#)
۹۷. [www.sid.ir](#)
۹۸. [www.sid.ir](#)
۹۹. [www.sid.ir](#)
۱۰۰. [www.sid.ir](#)



