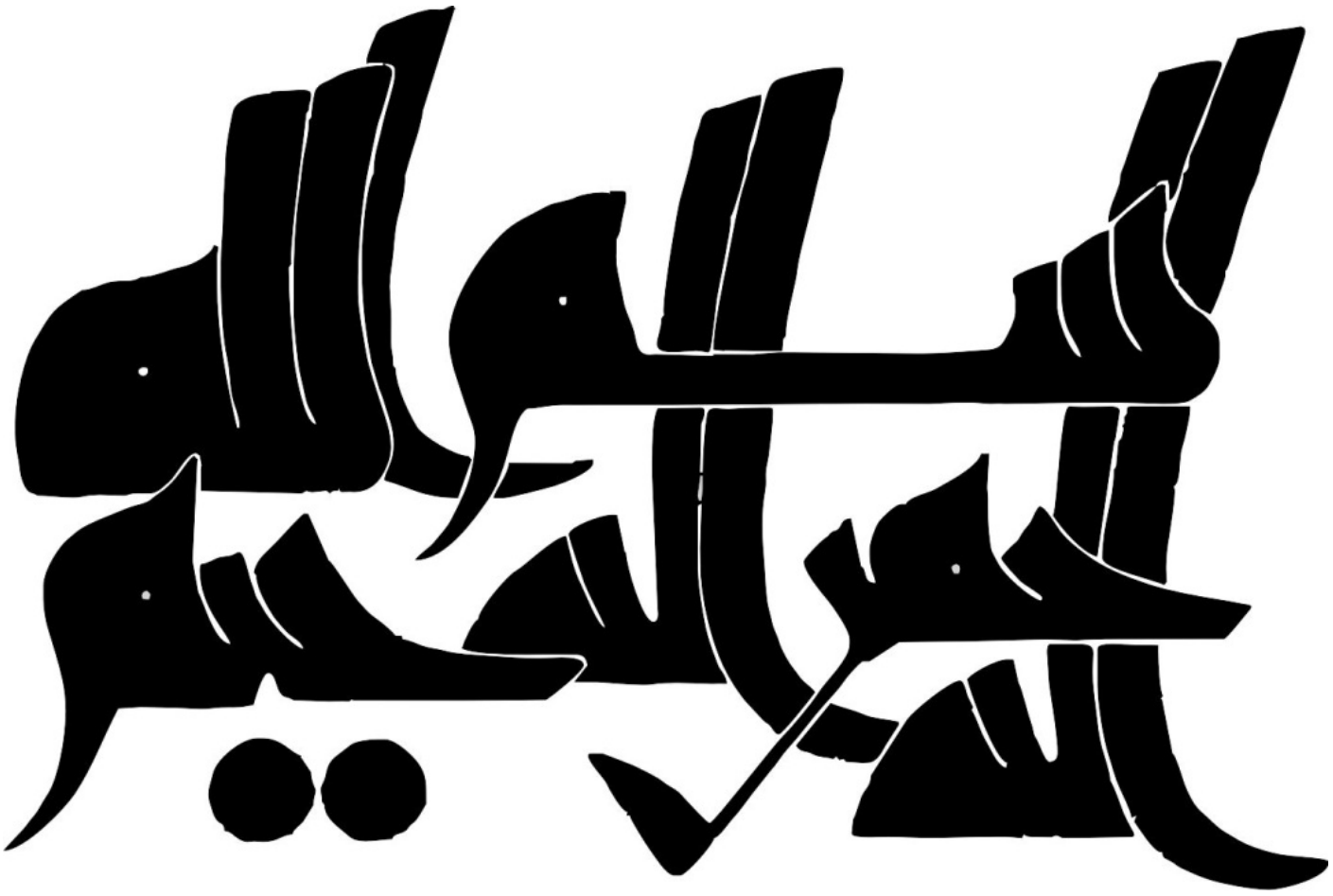
www.ParsBook.org

انفجار ذرات و تسلیحات ترموباریک

www.ParsBook.org



www.ParsBook.org

تقدیر و تشکر

در این بخش جا دارد که از زحمات و مساعدت‌های بی‌دریغ دکتر محمد صدیقی و مهندس حسین غفوری و تمام کسانی که در تهیه این مقاله یاری رساندند، تقدیر و تشکر بنمایم.

ضمناً خواهشمندم که انتقادات و پیشنهادات سودمند خود را، با عنوان «انفجار ذرات» به آدرس ایمیل Elvisf35@yahoo.com ارسال نمایید.

با تشکر

اسدالله بهمنی

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه.....۱

فصل اول– انفجار ذرات.....۳

۱-۱-گرد و غبار.....٤

۱-۲- خواص عمومی گرد و غبارها ٤

۱-۳- تشابه گرد و غبار با مایعات ٥

۱-٤- قوای محرکه ذرات ٥

۱-٤-۱- قوه‌ته‌نشینی ذرات و حدود آن.....٥

۱-٤-۲- حرکات برونین.....٦

۱-٤-۳- خاصیت چسبندگی ذرات.....٦

۱-٤-٤- پدیده تندال یا خاصیت نوری.....٦

۱-٤-٥- خاصیت الکتریکی.....۷

۱-٤-٦- خاصیت خیس شدن ۷

۱-٥- جمع‌آوری مواد خارجی.....۷

۱-٥-۱- وسایل صاف‌کننده و جداکننده ذرات..... ۸

۱-٥-۱-۱- صافی‌ها.....۸

۱-٥-۱-۲- دستگاه گرد و غبارگیر الکترواستاتیکی ۸

۱-٥-۱-۳- کونیمتر.....۹

ELVISF۳٥@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱-۵-۱-٤- ایمپینجرها با دستگاه گرین برک اسمیت ۹
۱-٦- ارزش‌یابی نمونه‌های گرد و غبار ۱۰
۱-۷- وزن کردن گرد و غبار..... ۱۱
۱-۸- انفجار ذرات..... ۱۱
۱-۸-۱- مواد رایج موجود در انفجار ذرات..... ۱۲
۱-۸-۲- تجهیزات درگیر با انفجار ذرات ۱۳
۱-۸-۳- آتش‌سوزی و بعد از آن انفجار ذرات..... ۱۳
۱-۸-٤- آمارهایی در باب مجروحین انفجار ذرات ۱۳
۱-۹- شرایط مورد نیاز برای وقوع انفجار ذرات ۱٤
۱-۹-۱- قابلیت احتراق و یا انفجار ذرات..... ۱٤
۱-۹-۲- قابلیت معلق ماندن در هوا و یا انتقال توسط جریان هوا..... ۱٤
۱-۹-۳- وجود غلظت مناسب از ذرات در مکان مورد نظر..... ۱۵
۱-۹-٤- اندازه ویژه ذرات..... ۱٦
۱-۹-۵- وجود عامل اکسنده در انفجار ذرات..... ۱۷
۱-۹-٦- وجود یک منبع اشتعال با انرژی کافی ۱۸
۱-۹-۷- وجود رطوبت در حد مناسب ۱۹
۱-۱۰- تست‌های آزمایشگاهی به منظور ارزیابی ویژگی‌های انفجار توده ذرات..... ۱۹
۱-۱۰-۱- تست‌های آزمایشگاهی برای تعیین درست‌نمایی یک انفجار..... ۲۰
۱-۱۰-۱-۱- تست طبقه‌بندی انفجار..... ۲۰

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱-۱۰-۱-۲- حداقل غلظت لازم برای انفجار..... ۲۰

۱-۱۰-۱-۳- حداقل درجه حرارت اشتعال و احتراق ۲۱

۱-۱۰-۱-٤- حداقل انرژی اشتعال و احتراق..... ۲۱

۱-۱۰-۱-۵- محدودیت اکسنده‌ها..... ۲۲

۱-۱۰-۲- تست‌های آزمایشگاهی برای تعیین نتایج و پی‌آمدهای یک انفجار..... ۲۲

۱-۱۰-۲-۱- ماکزیمم مقدار فشار انفجار..... ۲۲

۱-۱۱- گرد و غبارهای فلزی ۲٤

۱-۱۱-۱- غبار آلومینیوم..... ۲۵

۱-۱۱-۲- غبار روی ۲۵

۱-۱۱-۳- غبار کبالت..... ۲۵

۱-۱۱-٤- غبار منگنز..... ۲٦

۱-۱۱-۵- غبار زیرکونیم..... ۲٦

۱-۱۲- انفجار ذرات در سیلوها ۲٦

۱-۱۳- انفجارهای اولیه و ثانویه..... ۳۲

۱-۱٤- مبنای ایمنی برای خطرات ناشی ازانفجارتوده ذرات گرد وغبار ۳۲

۱-۱٤-۱- میزان موانع بازدارنده انفجار..... ۳۳

۱-۱٤-۱-۱- عدم شکل‌گیری توده گرد و غبار ۳۳

۱-۱٤-۱-۱-۱- سیستم‌های تهویه رقیق‌سازی..... ۳۳

۱-۱٤-۱-۱-۲- تهویه موضعی ۳٤

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱-۱٤-۱-۲- تخلیه کافی عامل اکسید کننده اتمسفر..... ۳۵

۱-۱٤-۱-۳- قابلیت اشتعال توده گرد و غبار..... ۳٦

۱-۱٤-۱-۳-۱- کنترل منابع گرمایی و حرارتی..... ۳٦

۱-۱٤-۱-۳-۲- کنترل میزان اصطکاک و جرقه‌های ناشی از تصادم قطعات ۳۷

۱-۱٤-۱-۳-۳- جوشکاری، برشکاری و فعالیت‌ها و فرآیندهای کارگرم مشابه..... ۳۸

۱-۱٤-۱-۳-٤- تجهیزات و وسایل الکتریکی ۳۸

۱-۱٤-۱-۳-۵- پاره‌ای نکات احتیاطی در باب خطرات منابع الکتریسیته ساکن..... ۳۸

۱-۱٤-۲- میزان مهارکننده‌های انفجار..... ٤۰

۱-۱٤-۲-۱- سدهای انفجاری..... ٤۰

۱-۱٤-۲-۲- بازدارنده انفجاری..... ٤۱

۱-۱٤-۲-۳- هواکش اطمینان انفجار..... ٤۱

۱-۱٤-۲-٤- تجهیزات ایزو لاسیون انفجار..... ٤۱

۱-۱٤-۲-۵- سایر تجهیزات ضد انفجار ٤۲

۱-۱٤-۲-۵-۱- سقف تخلیه فشار..... ٤۲

۱-۱٤-۲-۵-۲- تجهیزات هوارسان..... ٤۲

۱-۱٤-۲-۵-۳- پانل‌های پاره شونده..... ٤٤

۱-۱۵- مدل‌های بررسی انفجار ذرات..... ٤٤

۱-۱٦- انفجار نانو پودرها..... ٤۵

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

فصل دوم– انفجار سوخت / هوا ۴۷

۲-۱- تاریخچه ٤٨

۲-۲- کاربردهای نظامی FAE..... ٤٩

۲-۳- تاثیرات FAE ٤٩

۲-٤- عملکرد FAE ٥٢

۲-٥- مواد به کاربرده شده در FAE ٥٣

۲-٦- حد بالا و پایین FAE ٥٤

۲-۷- عملکرد توده ابر و پخش آن ٥٥

۲-۸- پاره‌ای از ویژگی‌های ساختاری این سلاح ٥٥

۲-۹- تی.ان.تی معادل..... ٥٦

۲-۱۰- شروع انفجار ٥٧

۲-۱۱- پاره‌ای نکات ایمنی در باب FAE ٥٨

۲-۱۲- حداکثر فاصله مجاز از FAE ٥٩

۲-۱۳- نمونه‌ای از سلاح‌های FAE ٦٠

۲-۱٤-پیشرفتی در باب سلاح‌های FAE..... ٦٠

۲-۱٤-۱- ویژگی‌های اصلی این سلاح..... ٦١

۲-۱٤-۲- مشخصات لانچر این سلاح ٦١

۲-۱٤-۳- مشخصات موشک‌های این سلاح..... ٦١

مراجع..... ۶۳

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

فصل اول– انفجار ذرات.....۳

شکل(۱-۱)- درصد مواد مختلف در انفجار ذرات.....۱۲

شکل(۱-۲)- رابطه میان ماکزیمم مقدار فشار تولیدی ناشی ازانفجار ذرات با غلظت ذرات.....۱۵

شکل(۱-۳)- رابطه میان غلظت ذرات با فشار.....۱٦

شکل(۱-٤)- بررسی رابطه احتراق و یا انفجار ذرات با اندازه آن‌ها.....۱۷

شکل(۱-۵)- یک تهویه عمومی.....۳۳

شکل(۱-٦)- یک تهویه عمومی.....۳٤

شکل(۱-۷)- تهویه موضعی.....۳٤

شکل(۱-۸)- یک سد انفجاری متحرک ٤۰

فصل دوم– انفجار سوخت / هوا ۴۷

شکل(۲-۱)- نمایی از عملکرد FAE ۵۳

شکل(۲-۲)- نمایی از سلاح کارپت ٦۲

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

فصل اول– انفجار ذرات.....۳

جدول(۱-۱)- مقایسه پتانسیل انفجاری پاره‌ای از ذرات گرد و غبار.....۲٤

جدول(۱-۲)- گزارشی از انفجار ذرات در آمریکا در سال ۱۹۹۹.....۳۱

فصل دوم– انفجار سوخت / هوا ۴۷

جدول (۲-۱)- سرعت و فشار شروع احتراق‌های FAE و تی.ان.تی ۵۱

جدول (۲-۲)- حداکثر فشار با فاصله از توده ابر در سیستم‌های FAE ۵۱

جدول (۲-۳)- مقایسه ارزش انفجاری تی.ان.تی با سوخت‌های FAE ۵۷

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

مقدمه

جنگ همواره بوده است چه برای کشورهای صلح‌طلب وچه برای کشورهای جهان‌گشا. از طرف دیگر سوانح و اتفاقات غیر منتظره صنعتی همواره صدمات جبران‌ناپذیری را به بار آورده است. حال در این میان انسان به عنوان یک موجود صاحب اندیشه موظف است که همواره بر شرایط موجود مسلط باشد، یعنی هم بتواند با پیشرفت نظامی آزادی خود را حفظ کند و هم با افزایش سطح ایمنی حوادث ناگوار را مهار نماید.

مواد جامد زیادی وجود دارند که قابلیت اشتعال و احتراق دارند، در صورتی که این مواد جامد در ابعاد بسیار ریز درآیند، سطح تماس اکسیدایزر افزایش یافته و قابلیت احتراق آن‌ها به شدت افزایش می‌یابد؛ بگونه‌ای که نرخ آزاد شدن انرژی حرارتی شرایط را جهت ایجاد انفجار فراهم می‌سازد. لازم بذکر است که تحت شرایط خاص در محیط‌هایی که ذرات با قابلیت احتراق وجود دارند، امکان ایجاد احتراق و انفجارهای ناخواسته وجود دارد؛ بنابراین می‌توان از تکنولوژی بالا که در صنعت بفور حادثه‌آفرین بوده است در تسلیحات نظامی ترموباریک استفاده نمود.

گرد و غبار در اثر تجزیه یافتن مواد مختلف جامد به ذرات بسیار ریز تشکیل می‌شود و معمولاً در هوا شناور و معلق می‌گردد. اعمال مکانیکی از قبیل خرد کردن، اره کردن، مته کردن، ساییدن و غیره باعث تولید گرد و غبار می‌گردند. این ذرات ممکن است بسیار ریز بوده و از ذرات قابل رویت با چشم تا میکروسکوپی و اولترامیکروسکوپی تغییر نمایند. گرد و غبارها می‌توانند از مواد ارگانیکی، بسیاری از فلزات و حتی بعضی از نافلزات غیر ارگانیکی بوجود آیند؛ یعنی گرد و غبارها در کل دارای منشاء معدنی، شیمیایی، آلی و یا حیوانی می‌توانند باشند.

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

خطر انفجار ذرات قابل اشتعال در هوا موضوع تازه‌ای نیست و حدوداً از سه ربع قرن پیش، این نوع خطر مورد قبول عامه قرار گرفته و بسیار بیش از این به آن مظنون بوده‌اند؛ مثلاً در ابتدای امر در معادن زغال سنگ، مورد توجه قرار گرفت، زیرا همه ساله قربانیان فراوان ببار می‌آورد و چون گاز متان در این قبیل معادن وجود داشت، آن را مقصر اصلی می‌شناختند، ولی بعدها دانستند که غبار زغال سنگ برای انفجار احتیاجی به وجود متان ندارد.

بر اساس اسناد و مدارک موجود، اولین انفجار ذرات ثبت شده، در اواخر قرن هجدهم صورت گرفته است و آن هنگامی بود که یک کنت ایتالیایی با نام اکوف گزارشی از تجزیه و تحلیل خود در باب انفجاری در انبار آرد یک نانوایی ارائه داد.

بطور کلی در بحث انفجار ذرات با سلاح‌های حرارتی روبرو هستیم، که تاریخچه این سلاح‌ها را می‌توان به شعله‌افکن‌هایی مربوط دانست که در جریان جنگ جهانی اول در درگیری‌های سنگری مورد استفاده قرار می‌گرفتند (لازم به ذکر است که این شعله‌افکن‌ها برای اولین بار توسط آلمان‌ها ساخته شدند) و با استفاده از این شعله‌افکن‌ها به راحتی می‌توانستند نفراتی را که در پناه‌گاه‌ها و سنگرهای بتونی، خود را از تاثیرات بمب‌ها محافظت کرده بودند، خفه کنند.

لازم به ذکر است که این نوع سلاح با عنوان‌های دیگری نیز مطرح می‌باشد، که از جمله آن‌ها می‌توان به سلاح حرارتی و بمب خلا اشاره کرد.

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

فصل اول

انفجار ذرات

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱–۱– گرد و غبار[۱]

گرد و غبار در اثر تجزیه یافتن مواد مختلف جامد به ذرات بسیار ریز تشکیل می‌شود و معمولا در هوا شناور و معلق می‌گردد. اعمال مکانیکی از قبیل خرد کردن، اره کردن، مته کردن، ساییدن و غیره باعث تولید گرد و غبار می‌گردند. این ذرات ممکن است بسیار ریز بوده و از ذرات قابل رویت با چشم تا میکروسکوپی و اولترامیکروسکوپی تغییر نمایند. گرد و غبارها می‌توانند از مواد ارگانیکی، بسیاری از فلزات و حتی بعضی از نافلزات غیر ارگانیکی بوجود آیند؛ یعنی گرد و غبارها در کل دارای منشا معدنی، شیمیایی، آلی و یا حیوانی می‌توانند باشند.[۱]

۱–۲– خواص عمومی گرد و غبارها

بطور کلی موقعی که جسم جامد و یا مایع به ذرات کوچک تقسیم شد و در هوا پراکنده گردید، دو نوع تغییر اساسی در آن ظاهر می شود که آن‌ها عبارتند از

۱– سطح خارجی آن بمقدار زیادی وسیع می‌گردد.

۲– مکان و محلی که جسم پراکنده اشغال می‌کند بمراتب وسیع‌تر از حجمی است که جسم اولیه داشته است. مثلاً یک سانتیمتر مکعب کوارتز اگر به ذراتی که یک میکرون حجم داشته باشند، خورد و تقسیم شود، جمعاً ده بتوان دوازده ذره با سطح کلی ٦ متر مربع ایجاد خواهد شد، در صورتی که جسم اولیه فقط ٦ سانتیمتر مربع سطح داشته است.[۱]

---

[۱]- Dust

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱–۳– تشابه گرد و غبار با مایعات

چون مقدار زیادی از هوا روی سطوح ذرات نرم گرد و غبار جذب می‌گردد، مجموعه این ذرات ایجاد توده‌ای از ذرات گرد وغبار را خواهند نمود که دارای خواص مشابهی با مایعات و گازها می‌باشند؛ مثلاً این توده می‌تواند متراکم شود و مثل مایعات اگر داخل ظروفی چون سطل و غیره قرار گیرد ممکن است لبریز شود و یا چون مایعات از داخل لوله‌ای بشکل روان و مایع سرازیر گردد. اگر سنگی در داخل توده نرمی افکنده شود، در محل افتادن سنگ تموجاتی چون مایع حاصل می‌گردد. در اثر عبور هوا از روی گرد وغبار مقداری از ذرات ریز جابجا شده و بجلو حرکت می‌کند و عملی مشابه تقطیر انجام می‌گیرد. این حرکات بستگی بشدت جریان هوا دارد و اگر شدت جریان هوا ثابت باشد، مقدار ثابتی از گرد و غبار در واقع تبخیر می‌گردد و پس از چندی هوا از آن اشباع خواهد شد. اگر شدت وسرعت جریان هوا بحد زیادی برسد؛ می‌تواند تمام توده گرد و غبار را همراه خود ببرد و مثل آن است که گرد وغبار در حالت غلیان قرار گرفته و حالت جوش برقرار گردیده است.[۱]

۱–۴– قوای محرکه ذرات[۱]

۱–۴–۱– قوه‌نشینی ذرات[۲]وحدود آن

یک ذره میکروسکوپی همانند سایر مواد، در حالت تعلیق در هوا، بعلت قوه ثقل به طرف زمین کشانیده می‌شود و لیکن به علت سطح خارجی نسبتاً بزرگ از یک طرف و مقاومت نسبی هوا از طرف دیگر، این ذره در هوا مطابق قانون ثقل با ازدیاد سرعت، ساقط نمی‌گردد. این سقوط و راسب شدن برای ذرات میکروسکوپی خیلی بطی است و بر حسب سانتیمتر در ساعت و حتی میلیمتر در ساعت اندازه‌گیری

---

[۱]- Particle Dynamics
[۲]- Setting Rate

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

می‌شود. بدین ترتیب می‌توان گفت که سوسپانسیون‌های گرد و غبار در هوا دارای ثبات قابل ملاحظـه‌ای هستند و می‌توانند برای مدت‌های طولانی در هوا پایدار بمانند و لازم بذکر است که بعلت مقاومت زیـاد هوا ردیابی ذرات میکروسکوپی و یا گرفتن و برداشتن آن‌ها از هوا بسیار مشکل است.

۱-۴-۲- حرکات برونین[۱]

جرم ذرات میکروسکوپی باندازه‌ای کوچک است که در اثر قوای وارده از طرف گاز و یـا هـوایی کـه در آن شناورند، باطراف رانده می‌شوند. در حالت تعادل قوای وارده بـر مولکـول‌هـا برابـر و صـفر اسـت و حرکت محسوسی از ذره بهیچ طرف دیده نمی‌شود، و لـیکن کلیـه ذرات خـود دارای خاصـیت نوسـانی هستند که بنام حرکت برونین معروف می‌باشند. لازم بـذکر اسـت کـه ذرات گـرد وغبـار دارای حرکـت دورانی[۲] نیز می‌باشند.

۱-۴-۳- خاصیت چسبندگی ذرات[۳]

بطور کلی به جهت حرکات شدید برونین ذرات گرد وغبار، امکان تصادم آن‌ها در هوا زیـاد اسـت و در اثر برخورد با یکدیگر تولید توده متراکم و بهم چسبیده می‌نمایند.

۱-۴-۴- پدیده تندال[۴] یا خاصیت نوری

از اختصاصات نوری آن است که می‌توان با تابش اشعه نورانی وجود و یا عدم وجود ذرات معلق گرد و غبار را در محل‌های تاریک فهمید. هرگاه مواد جامد و یا مایع به صـورت ذرات ریـز و پراکنـده در هـوا موجود نباشند، تابش اشعه نورانی و مسیر آن در اتاق تاریک مرئـی نخواهـد بـود؛ در صـورتیکه وجـود

۱- Brownian Motion
۲- Centrifugation
۳- Flocculation
۴- Tindal Phenomenon

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

ذرات معلق در هوا مسیر اشعه نورانی را مشخص می‌نماید. ایـن آزمـایش اولـین بـار توسـط تنـدال[1] در موضوع وجود ذرات در هوا انجام گرفت.

۱–۴–۵– خاصیت الکتریکی[2]

ذرات گرد وغبار دارای بار الکتریکی هستند و بدین جهت به طرف ذراتی که دارای بار مخـالف باشـند، جذب می‌گردند. لازم بذکر است که هرگاه به ذرات گرد و غبار معلق شارژ الکتریکی داده شـود، تمایـل تشکیل یافتن توده‌ها زیادتر می‌گردد.

۱–۴–۶– خاصیت خیس شدن

خیس شدن در مرحله اول یک پدیده جذب است که در واقع سطوح ذرات با قشر نازکی از آب پوشیده می‌شود. اغلب مایعات تمایل به گسترده شدن و پهن شدن روی سطوح را دارنـد و لـیکن قـوای زیـادی باید مصرف شود تا گرد و غبار خیس و مرطوب گردد و این بدان علت است که ذرات با قشری از هـوا پوشیده و احاطه شده‌اند. لازم بذکر است که خیس بودن و یـا خـیس شـدن ذرات در نمونـه‌بـرداری و کنترل گرد و غبار اهمیت زیادی دارد.[۱]

۱–۵– جمع آوری مواد خارجی

در مواردیکه لازم است مواد موجود در هوا جدا شده، صاف گردد و یـا در محلـی جمـع آوری شـود، از وسایل مختلفی بنام وسایل صاف کردن و جذب[3] استفاده می‌شود.

مـوادی مثـل گـرد و غبـار، دود و مـه توسـط وسـایل صـاف کننـده و گازهـا و بخـارات توسـط وسایل جذب کننده جمع آوری می‌شوند.

---

[1]- Tindal
[2]- Electric Charge
[3]- Filtering and Absorbing Devices

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱–۵–۱– وسایل صاف کننده و جدا کننده ذرات

۱–۵–۱–۱– صافی‌ها

انواع و اقسام کاغذهای صافی با اندازه‌های مختلف و با خلل و فرج‌های مختلف و همچنین مقاومت گوناگون وجود دارد. با این صافی‌ها می‌توان ذرات جامد گرد و غبار و یا مایعات معلق[۱] در هوا را، از هوا جدا نمود. کاغذ واتمن شماره ٤٢ برای ذرات بسیار کوچک دودهای فلزی مثل اکسید کادمیوم، اکسید روی، دود سرب و دودهای جوشکاری مناسب است. همچنین صافی‌هایی از جنس پنبه کوهی[۲] وجود دارد که در مواقع خاصی بکار می‌روند. برای قرار دادن صافی‌ها در دهنه مکنده پمپ باید دقت کافی نمود و باید این صافی‌ها کاملاً خشک و تمیز باشند و در صورت لزوم وزن دقیق آن‌ها تعیین شده باشد.

۱–۵–۱–۲– دستگاه گرد و غبارگیر الکترواستاتیکی[۳]

در این دستگاه محفظه شیشه‌ای استوانه‌ای شکلی قرار دارد که از وسط آن سیم فلزی عبور داده شده (قطب مثبت) و با بالا رفتن ولتاژ الکتریسیته و استفاده از خاصیت الکترواستاتیکی، کلیه ذرات گرد و غباری که از داخل آن عبور می‌کنند، به بدنه استوانه (قطب مثبت) می‌نشیند و به آسانی می‌توان ذرات معلق را جمع آوری کرده ، وزن نمود و یا برای آزمایش بکار برد. این روش بسیار دقیق و قابل اطمینان است.

---

[2]- Air Particulates
[۲]- Asbestos
[۳]- Elector static Dust Sampler

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱-۵-۱-۳- کونیمتر[۱]

این دستگاه برای نمونه‌برداری متعدد از گرد و غبار محل کار قابل استفاده است. در هر بار مقدار کمی (۲/۵ تا ۵ میلی لیتر) از هوا توسط پمپ کنار دستگاه کشیده شده و با رها کردن پیستون نمونه حاوی گرد و غبار به داخل محفظه مدرج که متصل به یک عدسی است وارد می‌شود. با این وسیله می‌توان تعداد ذرات را شمارش نمود و فرم خارجی آن‌ها را تشخیص داد.

۱-۵-۱-۴- ایمپینجرها[۲] یا دستگاه گرین برک اسمیت[۳]

ایمپینجرها وسایلی هستند که می‌توان در آن‌ها گرد و غبار موجود در هوا را جمع آوری کرد. معمولاً در شیشه اصلی نمونه‌برداری[۴] ایمپینجر آب و یا حلال دیگری بنام مایع جمع آوری کننده[۵] می‌ریزند و ذرات معلق موجود در هوا به کمک پمپی که به آن متصل است کشیده شده و به داخل مایع مزبور وارد می‌شود. نوع استاندار آن معمولا تا ۲۷۵ میلی لیتر مدرج است و مقدار مایعی که در آن ریخته می‌شود ۷۵ تا ۱۰۰ میلی‌لیتر و یا بیشتر و یا کمتر است. نوع دیگر آن کوچکتر و بنام میدجت ایمپینجر[۶] است که گنجایش کمتری دارد و حجم مایع بکار رفته در آن معمولاً ۱۰ میلی لیتر خواهد بود. ایمپینجرها معمولاً برای جمع‌آوری ذرات گرد و غبار بسیار مناسب می‌باشند، ولی برای دود و دود فلزی چندان دقت زیادی ندارند. لازم بذکر است که برای بدست آوردن نتایج بهتر می‌توان دو یا سه ایمپینجر را بطور سری دنبال یکدیگر قرار داد. لازم به ذکر است که غیر از وسایل گفته شده در بالا دستگاه‌های دیگری از قبیل دستگاه شمارش گرد و غبار اوونس[۷] و رسوب دهنده حرارتی[۸] وجود دارد که مخصوصاً نوع اخیر برای

۱- Conimeter
۲- Impinger
۳- Greenbery - Smith Apparatus
۴- Sampling Bottle
۵- Collecting Liquid
۶- Midget Impinger
۷- Owens Dust Counter
۸- Thermal Precipitator

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

تهیه نمونه‌های گرد و غبار جهت شمارش بسیار مناسب است و نمونه‌های جمع آوری شده را که روی شیشه‌ای آماده می‌گردد را می‌توان مستقیماً مورد آزمایش قرار داد.

۱-۶- ارزش‌یابی نمونه‌های گرد و غبار

ارزش‌یابی نمونه‌های گرد و غبار در یک حجم معینی از هوا می‌تواند بر مبنای تعیین وزن و یا شمارش ذرات بوده باشد. تعیین وزن ذرات گرد و غبار جمع آوری شده را می‌توان با استفاده از روش‌های شیمیایی و یا بطور مستقیم انجام داد. شمارش ذرات را می‌توان در حالیکه گرد و غبار در مایع (آبی و یا حلال آلی) بحالت تعلیق قرار داد انجام داد. برای شمارش ذرات از لام شمارش گرد و غبار[۱] استفاده می‌کنند. این لام‌ها انواع گوناگونی دارند و متدهای آزمایش نیز متفاوت است. معمولاً مقدار معینی از تعلیق یکنواخت ذرات گرد و غبار را قبلاً در حجم معینی از مایع آماده کرده‌اند، در اینگونه لام‌ها که عمق آن‌ها از ۰/۱ میلیمتر تا یک میلیمتر متفاوت است، می‌ریزند و سپس در حالی که روی آن پوشیده شده است برای مدتی به حال خود قرار می‌دهند. در مواردیکه مایع بکار رفته آب باشد این مدت معمولاً ۲۰ دقیقه و در موقعی که الکل مصرف شود نیم ساعت است. برای شمارش ذرات معمولاً از میکرومتر مدرج[۲] استفاده می‌کنند و شمارش را در تعدادی از مربع‌های میکرومتری در حالی که از زمینه روشن و یا تاریک[۳] استفاده می‌شود، انجام می‌دهند و مقدار گرد و غبار را بر حسب میلیون ذره در فوت مکعب[۴] از هوا و یا بر حسب واحد دیگری طبق فرمول مشخص محاسبه می‌نمایند. مسئله مهم آن است که باید در تهیه نمونه‌های آزمایشی کمال احتیاط را بکار برد و مخصوصاً در شستن و تمیز کردن لام‌ها دقت بسیار نمود که از گرد و غبار خارجی عاری باشند.[۱]

۱- Dust Counting Chamber
۲- Stage Micrometer
۳- Dark Field Or Light Field
۴- Million Particles Per Cubic Feet (M. P.P.C.F)

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱–۷– وزن‌کردن گرد وغبار

در تعدادی از نمونه‌ها لازم است که گاهی وزن ذرات موجود در هوا را بدست آورد. این عمل در مواردی که نمونه‌ها توسط ایمپینجر یا روی کاغذ و همچنین توسط دستگاه الکترواستاتیکی گرد و غبار جمع آوری شده باشند، عملی است. در مورد ذراتی که در داخل ایمپینجر و یا در مایع جمع آوری شده باشند، چه بصورت محلول و یا نامحلول می‌توان با تبخیر حلال و جمع آوری کردن و خشک نمودن و بالاخره توزین باقیمانده، مقدار مواد موجود در هوا را بدست آورد. البته این کار لازم است که با دقت تمام انجام گیرد. ضمناً در این مورد مقدار گرد و غبار بر حسب میلی‌گرم در متر مکعب[۱] از هوا محاسبه می‌شود. طریق دیگر آن است که می‌توان با سوزانیدن نمونه‌های گرد و غبار جمع آوری شده، مواد آلی و مواد معدنی را از هم جدا نمود. بدین ترتیب که تفاضل وزن نمونه مورد آزمایش قبل از شروع آزمایش و پس از سوزانیدن، وزن مواد آلی موجود در نمونه گرد و غبار را نشان خواهد داد. بالاخره راه دیگر اندازه‌گیری وزن ذرات گرد و غبار دستگاه فتومتر گرد و غبار[۲] است که در این دستگاه با قرار دادن کاغذ صافی‌های کوچک مخصوصی که حاوی نمونه‌های جمع آوری شده اند، ضمن مقایسه با شاهد، می‌توان وزن ذرات گرد و غبار را تعیین نمود.[۱]

۱–۸– انفجار ذرات

خطر انفجار ذرات قابل اشتعال در هوا موضوع تازه‌ای نیست و حدوداً از سه ربع قرن پیش، این نوع خطر مورد قبول عامه قرار گرفته و بسیار بیش از این به آن مظنون بوده‌اند؛ مثلاً در ابتدای امر در معادن زغال سنگ، مورد توجه قرار گرفت، زیرا همه ساله قربانیان فراوان ببار می‌آورد و چون گاز متان در این

1- Miligrams Per Cubic Meter
۲- Dust Measuring Photometer

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

قبیل معادن وجود داشت، آن را مقصر اصلی می‌شناختند؛ ولی بعدها دانستند که غبار زغال سنگ برای انفجار احتیاجی به وجود متان ندارد. بر اساس اسناد و مدارک موجود، اولین انفجار ذرات ثبت شده، در اواخر قرن هجدهم صورت گرفته است و آن هنگامی بود که یک کنت[۱] ایتالیایی با نام اکوف[۲] گزارشی از تجزیه و تحلیل خود در باب انفجاری در انبار آرد یک نانوایی ارائه داد.[۲]

در این قسمت به چندین عنوان کلی در باب انفجار ذرات می پردازیم

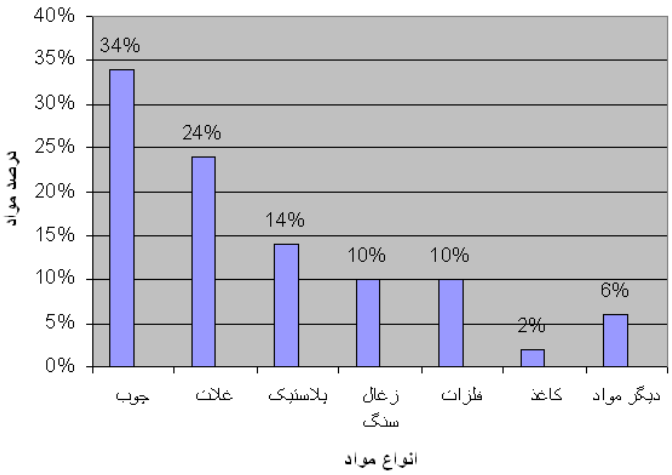
۱-۸-۱- مواد رایج موجود در انفجار ذرات

۱- چوب و کاغذ ۲- زغال سنگ

۳- فلزات ٤- پلاستیک‌ها

٥- مواد غذایی و حبوبات ٦- مواد دارویی و مواد آلی

۷- دیگر مواد و پاره‌ای مواد ناشناخته.



شکل(۱-۱)- درصد مواد مختلف در انفجار ذرات.

[۱]- Count
[۲]- Eckoff (1997)

ELVISF۳٥@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱–۸–۲– تجهیزات درگیر با انفجار ذرات

- گرد گیرها[۱].
- سیلوها[۲] و انبارها[۳].
- ماشین‌های سنباده، سنگ‌زنی و آسیاب‌ها، پودر کننده‌ها و گرد پاش‌ها.
- سیستم‌های باربری با نوار نقاله[٤].
- خشکن‌ها و گرم‌خانه‌ها و کوره‌ها.
- تجهیزات مخلوط‌کن.

۱–۸–۳– آتش‌سوزی و بعد از آن انفجار ذرات

۱– در ۷۰/۳ درصد از موارد بدین صورت بوده است.

۲– در ۲۵/۲ درصد از موارد بدین صورت نبوده است.

۳– در ٤/۵ درصد از موارد مشخص نمی‌باشد.

۱–۸–۴– آمارهایی در باب مجروحین انفجار ذرات

۱– در ۳۵۷ مورد انفجار ذرات در آلمان، ۱۰۳ نفر کشته و ٤۹۲ نفر مجروح شدند.

۲– در ۱٤۰ مورد انفجار ذرات در انگلیس در خلال سال‌های ۱۹۹۳–۱۹۸۸، ۵ نفر کشته و ۱۰۰ نفر مجروح شدند.

۳– در ۱۲۲ مورد انفجار ذرات غلات در آمریکا در سال ۲۰۰۱، ۱٦ نفر کشته و ۱٤۷ نفر مجروح شدند.[۳]

۱- Dust Collectors
۲- Silos
۳- Bunkers
٤- Conveying System

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱–۹– شرایط مورد نیاز برای وقوع انفجار ذرات

باید ۷ شرط به طور همزمان با هم وجود داشته باشند تا در یک مکان انفجار ذرات بوقوع بپیوندد، که در زیر به صورت کامل به آن‌ها اشاره می‌نماییم

۱–۹–۱– قابلیت احتراق و یا انفجار ذرات

در مرحله اول بررسی باید به این امر بپردازیم که اگر ذرات مورد نظر ما به صورت یک توده ابر در فضا پخش شوند، قابلیت انفجار و یا احتراق دارند یا نه؟ لازم به ذکر است که قابلیت احتراق یک ذره بوسیله میزان انتقال حرارت توسط آن ذره تعیین می‌شود که این امر بوسیله تست‌های طبقه‌بندی شده انفجار[۱] قابل تشخیص می‌باشد. بنابراین بر اساس این تست‌ها می‌توان قابلیت انتقال شعله و یا حرارت و یا عدم این قابلیت را در مورد یک ذره معلق تعیین نمود و بعد بر اساس آن توانایی ذره در ایجاد احتراق و یا انفجار را بررسی نمود.

۱–۹–۲– قابلیت معلق ماندن در هوا و یا انتقال توسط جریان هوا

یک احتراق بسیار سریع ذرات که از نور و حرارت بسیار بالا برخوردار است، وابسته است به نرخ تصادم و برخورد ذرات با اکسید کننده‌های موجود و لازم به ذکر است که معروف‌ترین اکسید کننده‌ای که در هوا می‌باشد، اکسیژن است. بیشتر ذرات گرد و غبار حاوی اکسیژن مورد نیاز برای احتراق‌شان نیستند و در صورتی که به صورت معلق در نیایند، نمی‌توانند با اکسیژنی که در فضای اطرافشان وجود دارد، برخورد داشته باشند و در نتیجه احتراق آن‌ها به صورت مطلوب نخواهد بود و در این زمان عمدتاً احتراق‌شان به صورت نیم‌سوز و بدون شعله و همراه با دود می‌باشد.

---

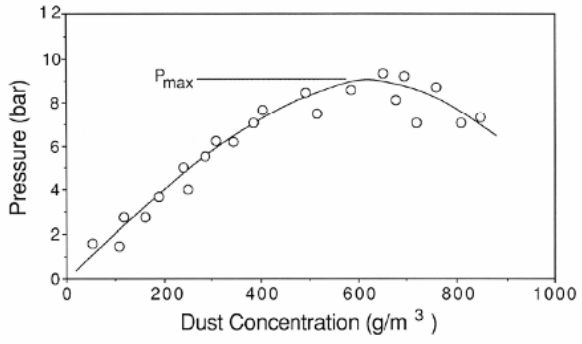
[۱]- Explosion Classification Test

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱-۹-۳- وجود غلظت مناسب از ذرات در مکان مورد نظر

اگر غلظت یک توده ذرات گرد و غبار ازحداقل غلظت لازم برای انفجار[۱] کمتر باشد، در این زمان از آن توده انفجاری نخواهیم داشت، به این خاطر که در این زمان فاصله‌ای که در بین ذرات می‌باشد، بیشتر از مقداری است که یک ذره بتواند انرژی ناشی از احتراقش را به صورت موثر به ذره مجاورش انتقال دهد و در نتیجه ذره جدید انرژی لازم برای مشتعل شدن و احتراقش را بدست نمی‌آورد. حال اگرغلظت ذرات گرد و غبار افزایش یابد، به گونه‌ای که مقدار آن از حداقل غلظت لازم برای انفجار بیشتر شود، در این زمان با افزایش میزان غلظت، میزان سرعت انفجار نیز افزایش می‌یابد، تا اینکه در یک غلظت مطلوب و بهینه، سرعت انفجار به بیشترین مقدار خود می‌رسد. حال اگر غلظت این ذرات از یک حد خاصی بیشتر شود، در این زمان دیگر سرعت انفجار افزایش نمی‌یابد، بلکه کاهش می‌یابد و علت آن حاضر نبودن اکسیژن مورد نیاز برای پروسه احتراق ذرات است. ضمناً لازم به ذکر است که حداقل غلظت لازم برای انفجار ذرات را می‌توان به کمک پاره‌ای تست‌های آزمایشگاهی تعیین بنماییم که در بخش‌های دیگر به آن اشاره خواهد شد. لازم به ذکر است که رابطه میان غلظت ذرات و فشار ناشی از انفجار آن‌ها نیز از مطالب فوق پیروی می‌نماید که در شکل ۱-۲ و ۱-۳ نشان داده می‌شوند.

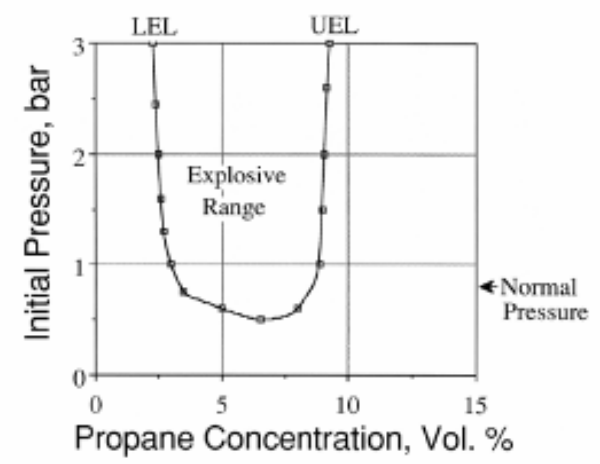


شکل(۱-۲)- رابطه میان ماکزیمم مقدار فشار تولیدی ناشی از انفجار ذرات با غلظت ذرات گرد و غبار.

[۱]- Minimum Explosion Concentration

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org



شکل (۱-۳)- رابطه میان غلظت ذرات با فشار.

۱-۹-۴- اندازه ویژه ذرات

هر اندازه که ذرات گرد و غبار کوچکتر شوند، به همان میزان سطح مقطع آن‌ها افزایش می‌یابد و به همان میزان سطح تماس آن‌ها با اکسیژن افزایش می‌یابد و می‌توان نتیجه گرفت که شدت انفجار ذرات با کاهش اندازه آن‌ها به شدت افزایش می‌یابد؛ البته لازم به ذکر است که در عمل اکثر توده‌هایی که از ذرات گرد و غبار ایجاد می‌شوند، حاوی ذراتی با اندازه‌های متفاوت می‌باشند. اما در حالت کلی هر چه این ذرات ریزتر شوند، راحت‌تر در هوا پخش می‌شوند و به همین ترتیب برای مدت زمان بیشتری در هوا معلق می‌مانند و این امر باعث می‌شود که به شدت مشتعل شوند و سپس باعث ایجاد و انتشار یک انفجار عظیم گردند. معمولاً ذراتی با قطر کمتر از ۲۵۰ میکرون، از قابلیت اشتعال بالایی برخوردار هستند و حتی پژوهش‌ها نشان داده که ذراتی با قطر بیشتر از ۵۰۰ میکرون هم تحت شرایط خاصی این خاصیت را دارا می‌باشند. نکته قابل توجه این است که می‌توان با افزایش اندازه ذرات و بزرگ کردن آن-ها، به کاهش خطر انفجار آن‌ها کمک نمود. با توجه به شکل ۱-٤ در می‌یابیم که هر چه اندازه ذرات کوچکتر شود، بهمان اندازه احتراق آن‌ها سریع‌تر انجام می‌شود، بطوری که در نهایت به یک انفجار تبدیل می‌شود.

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

شکل(۱-٤)- بررسی رابطه احتراق و یا انفجار ذرات با اندازه آن‌ها.

۱-۹-۵- وجود عامل اکسنده در انفجار ذرات

یک توده از ذرات قابل اشتعال فقط زمانی منفجر می‌شوند که، یک مقدار کافی از مواد اکسیدکننده در مجاورت آن‌ها قرار داشته باشد. در عمل، اکسیژن موجود در هوا، معمولی‌ترین عامل اکسنده‌ای است که در هوا موجود می‌باشد و از جمله دیگر عوامل اکسنده موجود در هوا می‌توان به کلرین[۱] (عنصر غیرفلزی زرد رنگ مایل به سبز که مستقیماً با فلزات ترکیب شده و تولید نمک می‌نماید)، اکسید نیتروس[۲] (مونو اکسید نیتروژن، گاز خنده‌آور)، اکسید نیتریک[۳] و تترا اکسید نیتروژن[٤] اشاره کرد. به طور کلی در این قسمت با اصطلاحی تحت عنوان اکسیژن بالانس[۵] روبرو هستیم، که از آن برای نشان دادن مقدار و اندازه اکسیژنی که می‌تواند در یک انفجار وجود داشته باشد، استفاده می‌شود. یک مولکول قابل انفجار که هیچ مقدار اکسیژنی در تماس با آن وجود ندارد، اگر به اندازه کافی با مولکول اکسیژن تماس پیدا نماید، در این زمان ماهیت آن دگرگون می‌شود و به ماده‌ای دیگر تبدیل می‌شود؛ به طور مثال کربن به دی اکسید کربن و هیدروژن به آب تبدیل می‌شود. حال اگر این مولکول میزان اکسیژنش بیشتر از مقدار مورد نیاز آن باشد، میزان اکسیژن بالانس آن مثبت است و اگر میزان اکسیژنش کمتر از مقدار مورد نیازش باشد، میزان اکسیژن بالانس آن منفی است. حساسیت، نیرو، توان و ضربه یک انفجار، همگی تابع مقدار اکسیژن

۱- Chlorine
۲- Nitrous Oxide
۳- Nitric Oxide
٤- Nitrogen Tetraoxide
۵- Oxygen Balance(OB%)

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

موجود می‌باشند. در این قسمت به یک فرمول ساده و تجربی اشاره می‌نماییم که با استفاده از آن می‌توانیم مقدار اکسیژن مورد نیاز برای ۱۰۰ گرم از یک ماده منفجره را تعیین نماییم :

$$OB\%=(-1600/MOL.Wt\ of\ compound)\times(2x+(J/2)+M-Z) \qquad (۱-۱)$$

در جایی که

X- تعداد اتم‌های کربن، J- تعداد اتم‌های هیدروژن، Z- تعداد اتم‌های اکسیژن

M- تعداد اتم‌های فلزی(اکسید فلزی تولید شده)

لازم به ذکر است که از فرمول فوق می‌توان برای محاسبه اکسیژن مورد نیاز برای نفجار ذرات آلی استفاده کرد؛ ولی باید مد نظر قرار داد که با این فرمول ساده نمی‌توان برای کلیه نتایج اظهار نظر نمود.

۱-۹-۶- وجود یک منبع اشتعال با انرژی کافی

در این قسمت به پاره‌ای از منابع که می‌توانند باعث محترق شدن و حتی منفجر شدن این ذرات گردند اشاره می‌نماییم، اما لازم به ذکر است که لیست ارائه شده، لیستی کامل و جامعی نمی‌باشد. جوشکاری و برشکاری، سطوح داغ، گرما و جرقه‌هایی که بوسیله شکست مکانیکی ایجاد می‌شوند، جرقه‌هایی که بوسیله برخوردهای شدید مکانیکی تولید می‌شوند، شعله‌ور شدن و آتش گرفتن مواد، خودگرمایی[۱]، تخلیه الکتریسیته ساکن[۲] و جرقه‌های الکتریکی. لازم به ذکر است که شدت اشتعال و انفجار یک توده از ذرات قابل انفجار را می‌توان بر اساس نوع منبع اشتعال با استفاده از تست‌های آزمایشگاهی تعیین نمود. شایان ذکر است که خودگرمایی ذرات به عواملی از قبیل سرعت جریان هوا، اندازه ذرات، نظم در حرکات ذرات، رطوبت ذرات، دما، ناخالصی‌ها و هندسه و ساختار پایه اجزا و سیستم‌ها وابسته است.

۱- Self Heating
۲- Electrostatic Discharge

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱–۹–۷– وجود رطوبت در حد مناسب

میزان رطوبت ذرات و گرده‌ها، در سهولت افروزش و قابلیت ادامه انفجار تاثیر دارد، بدین گونه که افزایش رطوبت، سبب افزایش انرژی افروزش (که برای بعضی از ذرات این افروزش به صورت نمایی است) و کاش شدت انفجار می‌شود، که این امر می‌تواند از دلایل مختلفی برخوردار باشد؛ از جمله اینکه وجود رطوبت در ذرات باعث می‌شود که ذرات گرد و غبار از خاصیت چسبندگی برخوردار شوند و این امر باعث می‌شود که در هنگام تصادم به یکدیگر، به هم‌بچسبند و ذرات درشت‌تری را بوجود آورند (فلکولاسیون) و به همان اندازه با افزایش اندازه ذرات، محترق نمودن آن‌ها دشوارتر می‌شود. از طرفی رطوبت موجود در ذرات بر اثر حرارت می‌تواند بخار شود، که این بخار آب مانند یک گاز بی‌اثر عمل می‌نماید. لازم به ذکر است که حضور حل کننده‌های قابل اشتعال در پودرها، تاثیر مخالف دارد، یعنی منجر به کاهش انرژی افروزش و افزایش شدت انفجار می‌گردد.[٤]

۱–۱۰– تست‌های آزمایشگاهی به منظور ارزیابی ویژگی‌های انفجار توده ذرات

به منظور ارزیابی میزان خطر یک انفجار ذرات باید بر روی دو عنوان کلی درست‌نمایی یک انفجار[۱] و پی‌آمد یک انفجار[۲] کار نماییم و لازم بذکر است که این دو مورد به ویژگی‌های ذرات قابل انفجار وابسته‌اند.

[۱] - Likelihood of an explosion
[۲] - Consequences of an explosion

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱–۱۰–۱– تست‌های آزمایشگاهی برای تعیین درست‌نمایی یک انفجار

۱–۱۰–۱–۱– تست طبقه‌بندی انفجار[۱]

تست طبقه‌بندی انفجار تعیین می‌نماید که اگر یک توده از ذرات گرد وغبار در معرض یک منبع شعله قرار بگیرند منفجر می‌شوند یا نه و بر اساس نتایج این آزمایش می‌توان مواد مختلف را در گروه‌های قابل احتراق و یا غیر قابل احتراق طبقه‌بندی نمود. در این آزمایش گرد و غبار مورد نظر را با اندازه‌های مختلف در حجمی در حدود ۲۰ لیتر و یا یک متر مکعب در اطراف دستگاه‌ها و یا ماشین‌آلات پخش می‌نمایند و بعد سعی می‌نمایند که این توده حاصل از ذرات گرد و غبار را با یک منبع اشتعال که از انرژی کافی برخوردار است، مشتعل نمایند.

۱–۱۰–۱–۲– حداقل غلظت لازم برای انفجار[۲]

تست‌های حداقل غلظت لازم برای انفجار را می‌توان بر اساس روش ٦١٨٤١١ سازمان استانداردهای بین‌المللی[۳] و یا استاندارد E-1515 انجمن آزمایشات و مواد آمریکا[٤] انجام داد. لازم بذکر است که این آزمایش حداقل غلظتی را که می‌تواند منجر به ایجاد شعله و انتشار آن بر فراز منبع شعله شود را مشخص می‌نماید. در این تست یک نمونه مشخص از ماده مورد نظر را در فضایی در حدود۲۰ لیتر در اطراف دستگاه و یا ماشین مورد نظر پخش می‌نمایند و سپس سعی می‌نمایند که این توده گرد و غبار را با استفاده از انرژی یک منبع احتراق، مشتعل و محترق نمایند. حال این آزمایش را به کرات تکرار می‌نمایند و در هر دفعه مقداری را که در فضا پخش می‌نمایند کاهش می‌دهند، تا به این صورت بتوانند حداقل غلظت لازم برای انفجار را تعیین نمایند.

---

۱ - Explosion classification test
۲ - Minimum explosive concentration (MEC)
۳ - ISO
٤ - ASTM

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱-۱۰-۱-۳- حداقل درجه حرارت اشتعال و احتراق[۱]

این تست را می‌توان بر اساس استانداردهای E-2021 انجمن آزمایشات و مواد آمریکا و یا استاندارد ۱-۲-٦۱۲٤۱ استانداردهای اروپا انجام داد. در این تست یک نمونه مشخص از ذرات گرد و غبار را با اندازه‌های مختلف در فضایی در اطراف یک کوره پخش می‌نمایند و بدین صورت حداقل درجه حرارت کوره را که می‌تواند توده ذرات گرد و غبار را در آن غلظت خاص مشتعل و محترق نماید، تعیین می‌نمایند. لازم بذکر است که اندازه ذرات، شکل آن‌ها و مقدار رطوبت موجود در آن‌ها از تاثیر بسزایی بر روی این فاکتور برخوردارهستند؛ به گونه‌ای که به طور مثال با کاهش اندازه ویژه ذرات و یا کاهش مقدار رطوبت موجود در آن‌ها، مقدار ارزش این فاکتور نیز کاهش می‌یابد.

۱-۱۰-۱-۴- حداقل انرژی اشتعال و احتراق[۲]

این تست را می‌توانیم بر اساس استاندارد E-2019 انجمن آزمایشات و مواد آمریکا و یا استاندارد ۵۹۵۸ استانداردهای انگلیس و یا استاندارد IEC-241-2-3 استانداردهای بین‌المللی انجام داد. به کمک این تست می‌توان حداقل انرژی جرقه‌های الکترواستاتیک را که می‌تواند یک توده گرد وغبار را در مناسب‌ترین غلظت، محترق نماید، تعیین نمود و بر اساس این تست میزان تاثیرپذیری توده‌های گرد و غبار را از تخلیه‌های الکترواستاتیکی که در محیط انجام می‌شود، می‌توان تعیین نمود. لازم بذکر است که اندازه ویژه ذرات گرد و غبار، میزان رطوبت موجود در آن‌ها و شرایط فرآیندها از قبیل دما و نوع ماده اکسنده در فرآیند از تاثیر بسزایی بر روی این فاکتور برخوردار هستند، به گونه‌ای که بطور مثال با کاهش اندازه ویژه ذرات و رطوبت موجود در آن‌ها؛ میزان این فاکتور کاهش می‌یابد ویا با افزایش درجه حرارت محیطی که توده گرد و غبار در آن معلق است؛ میزان این فاکتور کاهش می‌یابد.

---

۱ - Minimum ignition temperature(MIT)
۲ - Minimum ignition energy(MIE)

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱-۱۰-۱-۵- محدودیت اکسنده‌ها[1]

این تست حداقل میزان غلظت اکسیژن را به منظور پشتیبانی از احتراق تعیین می‌نماید. برا ی این منظور اکسیژن را با یک گاز خنثی مثل نیتروژن جایگزین می‌نمایند، تا بتوانند حداقل غلظت اکسیژنی را که می-تواند از احتراق پشتیبانی نماید، بدست آورند. لازم بذکر است که این تست به منظور مطالعه بر روی چگونگی جلوگیری از انفجار انجام می شود، که در آن عموماً از گازهای خنثی استفاده می شود و بدین صورت غلظت مخاطره‌انگیز اکسیژن برای یک ماده خاص تعیین می شود. عمدتاً این تست را در فضایی در حدود ۲۰ لیتر در اطراف یک ماشین و یا دستگاه مورد نظر انجام می‌دهند. در این تست یک نمونه مشخص از گرد و غبار را با اندازه‌های مختلف در داخل یک ظرف و یا یک مخزن خاص پخش می-نمایند و سپس تلاش می‌کنند که این توده گرد و غبار را به کمک یک منبع اشتعال، محترق نمایند؛ حال به این ترتیب این آزمایش را تکرار می‌نمایند، با این تفاوت که در هر مرحله میزان اکسیژن موجود در آن محیط را نسبت به مرحله و یا دفعه قبل کمتر می‌نمایند و بدین صورت مقدار این فاکتور را محاسبه می-نمایند. لازم بذکراست که نوع گاز خنثی‌ای که بعنوان جایگزین اکسنده (اکسیژن) در این محیط استفاده می‌نمایند به شدت بر مقدار این فاکتور تاثیر می‌گذارد و از طرف دیگر دمای محیط نیز در مقدار این فاکتور موثر می‌باشد.

۱-۱۰-۲- تست‌های آزمایشگاهی برای تعیین نتایج و پی‌آمدهای یک انفجار

۱-۱۰-۲-۱- ماکزیمم مقدار فشار انفجار[2]

این تست را می‌توانیم بر اساس روش E-1226 انجمن آزمایشات و مواد آمریکا و یا بر اساس استاندارد ۶۸ سازمان بین‌المللی جلوگیری از آتش‌سوزی[1] و یا روش ۳۶۷۳ سازمان مهندسین آلمان[2] و یا بر اساس

[1] - Limiting oxidant concentration(LOC)
[2] - Kst

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

روش ٦١٨٤/١ سازمان بین‌المللی استاندارد انجام دهیم. برای تعیین نمودن این فاکتور از فضایی در حدود ۲۰ لیتر در اطراف دستگاه و یا ماشین مورد نظر استفاده می‌کنیم و نحوه عمل به این گونه است که در ابتدا گرد و غبار مورد نظر را در آن فضا پخش می‌نماییم و سپس آن را با یک آتش‌زنه شیمیایی با قدرت ۱۰۰۰۰ ژول مشتعل می‌نماییم و در نهایت فشار حاصل از آن انفجار را اندازه‌گیری می‌نماییم. شایان ذکر است که اندازه ذرات مورد نظر در تعیین غلظت توده گرد و غبار بسیار مهم می‌باشد و با استفاده از این فاکتور می‌توان شدت انفجار یک توده گرد و غبار را تعیین نمود و سرانجام از این داده می‌توان در طراحی موانع انفجار ذرات و موشک انفجاری مخلوط سوخت و هوا[۳] استفاده نمود. لازم بذکر است که عموماً با استفاده از فرمول زیر می‌توان مقدار شدت انفجار ذرات گرد و غبار را بدست آورد

$$K_{st} = (dp/dt)_{max} \cdot V^{1/3} \qquad (۲-۱)$$

لازم بذکر است که در اینجا $(dp/dt)_{max}$ برابر است با ماکزیمم مقدار فشار اندازه‌گیری شده در ظرفی به-حجم v. ضمناً سازمان مقابله با آتش از یک طبقه‌بندی خاص تحت عنوان طبقه‌بندی خطرات ذرات گرد و غبار برای نشان دادن پتانسیل انفجاری ذرات گرد و غبار استفاده می‌نماید که در آن با سه زیر مجموعه روبرو می‌باشیم که آن‌ها عبارتند از ST-3، ST-2، ST-1.

[۱] - NFPA
[۲] - VDI
[۳] - Fuel air explosive

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

جدول(۱-۱)- مقایسه پتانسیل انفجاری پاره‌ای از ذرات گرد و غبار.

ویژگی‌های انفجار	شدت انفجار ذرات (Bar.m/s)	کلاس انفجار ذرات
بدون انفجار	0	ST 0
انفجار ضعیف	0 < Kst < 200	ST 1
انفجار قوی	200 < Kst < 300	ST 2
انفجار خیلی قوی	Kst > 300	ST 3

شایان ذکر است، ذراتی که در محدودهٔ ST-3 قرار می‌گیرند، از قابلیت انفجاری بسیار بالایی برخوردار می‌باشند.

۱-۱۱- گرد و غبارهای فلزی

براساس تحقیقات سازمان سی.سی.پی.اس[۱] در سال ۲۰۰۵ معلوم شد که در حدود ۱۹ درصد از کل انفجار ذرات دنیا، مربوط به ذرات گرد و غبار فلزی بوده است و این یافته بیانگر این امر می‌باشد که ذرات گرد و غبار فلزی از خطرات ویژه‌ای برخوردار هستند و لازم است که پاره‌ای اقدامات احتیاطی، متناسب با آن‌ها به منظور جلوگیری از انفجارشان صورت گیرد. در این قسمت به پاره‌ای از ذرات فلزی که از قابلیت انفجاری بالایی برخوردارند، می‌پردازیم.

[۱]- CCPS

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱–۱۱– ۱– غبار آلومینیوم

به خواص انفجاری گرد و غبار آلومینیوم در نوشتار و استانداردهای اطفاء حریق سازمان ملی مقابله با آتش به طور مفصل اشاره شده است. اطلاعات اولیه جمع آوری شده بوسیله سازمان تحقیق و بررسی خطرات و ایمنی مواد شیمیایی در آمریکا[۱] نشان می‌دهد که در حدود ۲۵ درصد از کل انفجار ذراتی که در ۲۵ سال گذشته در آمریکا بر اثر ذرات گرد و غبار فلزی بوجود آمده است، غبار آلومینیوم عامل اصلی بوده است. بر اساس یافته‌های این سازمان ذرات گرد و غبار آلومینیوم که بر روی یک مکان خاص و یا سطوح یک ساختمان جمع می‌شوند، از قابلیت انفجاری کمتری نسبت به پودر آلومینیوم برخوردارند. غبار آلومینیوم، هرچه نرم‌تر باشد، خطرش بیشتر است و موقعی که حد متوسط ذرات آلومینیوم ۰/۱٤ میکرون باشد، کمترین حد غلظت انفجار آن ٤۰ تا ۵۰ میلی گرم در لیتر هواست.

۱–۱۱– ۲– غبار روی

پودر روی به رنگ خاکستری مایل به آبی است و دارای خطر انفجار و احتراق است. هرگاه این ماده در محل مرطوب نگهداری شود، امکان خطر احتراق خود بخود آن وجود خواهد داشت. بقایای حاصل از عمل احیاء توسط روی اگر در محل نامناسب ریخت و پاش گردد، ممکن است ایجاد احتراق نماید.

۱–۱۱– ۳– غبار کبالت

فقط بعضی از اشکال کبالت آتش گیرنده[۲] هستند. نوعی از املاح آن که در اثر احیا اکسید با هیدروژن بدست می‌آید، آتش گیرنده می‌باشد. کبالت پیروفوریک، پودری سیاه رنگ است که در اثر تماس با اکسیژن و با هوا، با درخشش زیادی می‌سوزد و شعله ور می‌شود.

۱- U.S.Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB)
۲- Pyrophoric

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱–۱۱– ۴– غبار منگنز

گرد و غبار منگنز به صورت ابر در ٤٥٠ درجه سانتیگراد حداقل درجه اشتعال را دارد و حداقل غلظت قابل انفجار آن ۱۲۵ اونس در یک هزار فوت مکعب است، که در این حالت حداکثر فشار انفجار آن معادل ۵۰ پوند بر اینچ مربع خواهد بود. در این صورت حداقل درصد اکسیژن لازم که از احتراق گرد و غبار ابری منگنز جلوگیری نماید ۱۵ می‌باشد.

۱–۱۱– ۵– غبار زیرکونیم

فلزی است سخت، درخشان و مایل به خاکستری. پودرش بسیار قابل اشتعال است و در بعضی از شرایط، ممکن است به صورت خودبخود و بشدت منفجر گردد. درجه آتش گیری آن بسیار پایین است؛ بعلاوه این پودر از لحاظ آتش‌گیری و انفجار در هوا بوسیله الکتریسیته ساکن، بسیار حساس است و ضمناً این نوع الکتریسیته می‌تواند بر اثر جریان پودر مذکور در هوا بصورت خودبخود تولید گردد. پودر زیرکونیوم با مواد اکسید کننده، مخلوط‌های انفجاری تشکیل می‌دهد و در صورت احتراق شعله آن شدید و درخشان است.[۱]

۱–۱۲– انفجار ذرات در سیلوها

در طراحی و بهره‌برداری از سیلوها و انبارهای غلات بخصوص گندم، علاوه بر مسائل محلی مانند مقاومت خاک، عمق آب‌های زیر زمینی و سطحی، نوع خاک، زلزله‌خیزی منطقه، حرارت و شرایط جوی منطقه و مانند آن، باید به مواردی چون مکانیزم تخلیه برای جلوگیری از ایجاد حالت طاقی در غله، سیستم‌های اندازه‌گیری و کنترل درجه حرارت، سیستم گردگیر و فیلترها و نحوه کارکرد منظم آن‌ها، نوع مصالح مصرفی در سیستم‌های مکانیکی برای جلوگیری از فرسایش و ایجاد جرقه در محیط، استفاده از خشک‌کن برای جلوگیری از تخمیر و فساد، سیستم هوادهی، هواکش‌های سقفی و دیواری، جلوگیری از

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

ایجاد و انتقال جرقه و آتش، طراحی مناسب سیستم آتش‌نشانی و آموزش نیروهای مربوطه، سیستم برق-گیر و غیره توجه نمود .اما آنچه اشاره شد حداقل تمهیداتی است که در طراحی سیلو برای پایداری آن‌ها باید در نظر گرفته شود، ولی دو خطر عمده شایان توجه، سیلوها را تهدید می‌نماید کـه بایسـتی همیشـه مورد توجه خاص قرار گیرند:

۱- غبار منفجر شونده ۲- تخمیر غله

گرد وغبار غله در اثر تماس و سایش دانه‌ها در حر کات و دوران‌ها با حجم و سرعت زیاد، ایجـاد مـی-شوند. توده گرد و خاک متراکم غله، بصورت انباشته که در فضا پخش نشده بی‌خطر است، امـا تـراکم و غلظت ذرات گرد و خاک معلق در هوا و نسبت هوا به گرد و خاک، یک عامل بحرانی است که می‌توانـد منجر به انفجار خطرناکی گردد. متاسفانه به علت تعدد و کثرت انفجار گرد و غبـار معلـق غلـه و آرد در سیلوها، این اتفاقات بسوانحی عادی تبدیل شده‌اند، در حالیکـه جـزء سـوانح بسـیار مخـرب تاسیسـات صنعتی می‌باشند. البته آتش‌سوزی و انفجار سیلوها، مختص گندم وجو و ذرت و سـویا نیسـت؛ بلکـه در سیلوها و انبارهای آرد، نشاسته، شک، شیر خشک، کود شیمیایی، پـودر کاغـذ و چـوب، زغـال سـنگ و محصولات نفتی و کشتی‌های حامل غلات نیز اتفاق افتاده است. آمار سازمان‌های بیمه آمریکا نشان مـی-دهد که هر ساله بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ آتش‌سوزی و انفجار در سیلوها اتفاق می‌افتد که ۲۰ تا ۳۰ مورد آن-ها مهلک و مخرب گزارش گردیده است. در اعلامیه دریایی انگلستان به تمامی کشتی‌های فلـه‌بـر گنـدم، جو و ذرت (سال ۱۹۹۲) چنین قید گردیده است:

حوادث گذشته نشان داده است که کشتی‌هایی که بصورت فله گنـدم و جـو و ذرت را حمـل مـی‌کننـد، همواره با خطر انفجار انبارهای مربوطه روبرو هستند. تحقیقات بعمل آمده علت را چنین اعلام مـی‌کنـد که معمولاً فضای خالی انبارهای نیمه پر اینگونه کالاها، از هوای مخلوط با غبار کاه، چوب و یـا بـرگ و

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

پوست خشک این گیاهان پرشده است که با توجه به آتش‌پذیری زیاد این ذرات ریز معلق در هوای انبار و همچنین ترکیب همگون این ذرات در هوا تنها مقدار کمی حرارت جهت آتش گرفتن ایـن ذرات لازم می‌باشد و در صورت آتش گرفتن این ذرات، تمام هوای درون انبار یک دفعـه آتـش مـی‌گیـرد؛ انبسـاط ناگهانی هوای درون انبار در یک لحظه صورت گرفته و با توجه به بسته بـودن فضـای درون انبـار، ایـن انبساط سبب انفجار شدید انبار می‌گردد. این حادثه معمولاً در شرایطی اتفاق می‌افتد کـه آتـش کـوچکی بدلایل مختلف بوجود می‌آید. این آتش کوچک سبب گرم شدن هوای غبار آلـود درون انبـار مـی‌شـود، ضمناً عملیات خاموش نمودن این آتش سبب بلند شدن غبار بیشتر و همگونی گرمای هوای درون انبـار می‌شود، حال این هوای گرم پر از ذرات ریز، مواد آتش‌گیر درون انبار، تنها نیاز به حـرارت کمـی بـرای آتش گرفتن دارد که می‌تواند از منابع مختلف و خصوصاً ایجاد گرمای درونی توسط خود گندم مرطوب که در عملیات خاموش کردن آتش کوچک اولیه مرطوب شده‌اند، صورت گیرد. لازم به ذکـر اسـت کـه این حالت برای کلیه انبارهای گندم و جو و ذرت صادق است. شدیدترین انفجاری که تاکنون در صنعت اتفاق افتاده است، مربوط به آتش‌گیری ابری از گرد و غبار مواد کربن‌دار[1] عادی مانند آرد نشاسته، خـاک اره و شکر بوده است که در آن‌ها این مواد به صورت ذرات بسیار ریز حضور داشتند که توانستند باعـث ایجاد انفجارهای شدید شوند. همچنین بسیاری از مواد کربن‌دار گردی، استعداد آتش‌گیری خودبخـود را دارند و اکسیداسیون تلی از این گردها، اغلب بوسیله رطوبت یا باکتری‌ها تسریع می‌شود؛ ضـمناً لازم بـه ذکر است که چنین تلی منفجر نمی‌گردد، ولی حرارت حاصله ممکن است غبارهای معلـق را بـه آسـانی آتش بزند. درجه حرارتی که ممکن است باعث جرقه زدن غبار شود بسته به نوع غبار، انـدازه دانـه‌هـای غبار و رطوبت غبار فرق می‌کند. غبار اغلب غلات، در مجـاورت سـطوح گـرم در حـدود ٤٠٠ تـا ٥٠٠

[1]- Carbonaceous

ELVISF٣٥@yahoo.com

www.ParsBook.org

درجه سانتیگراد مشتعل می‌شوند؛ ولی در حرارت‌های پایین‌تر تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد هم به تدریج شروع به سوختن می‌کنند که پس از سوختن، درجه حرارت بالاتر را برای انفجار غبار ایجاد می‌کند. شایان ذکر است که در بین سال‌های ۱۹۸۷ الی ۱۹۹۷، ۱۲۹ مورد انفجار ذرات گرد و غبار غلات ثبت شده، که حدود نیمی از آن‌ها مربوط به غلاتی بود که دارای هسته می‌باشند؛ بطوریکه ۱۱ مورد ناشی از گرد و غبارهای گندم و ۱۰ مورد ناشی از گرد و غبارهای لوبیا بوده است. زمانی که هسته‌های غلات به یکدیگر ساییده می‌شوند، میلیون‌ها ذره سوختی با قابلیت اشتعال بالا تولید می‌شود، که از جمله مواردی که منجر به سایش این هسته‌ها به یکدیگر می‌شود؛ می‌توان به حرکت و جابجا شدن این غلات در تسمه‌ها و نقاله‌ها و یا حتی سایش آن‌ها به یکدیگر در جعبه‌ها اشاره کرد. به طور کلی برای شکل‌گیری یک محیط انفجاری در داخل سیلوها دو احتمال وجود دارد:

۱- ایجاد گازهای قابل انفجار در بالای واحدهای انبار که می‌تواند توسط عواملی چون خود گرمایی، با یک شعله اولیه حاصل گردد.

۲- مخلوط قابل انفجار از هوا و غبار.

لازم به ذکر است که مهم‌ترین عامل در ایجاد زمینه برای وقوع آتش سوزی، مربوط به طراحی و ساخت غلط در وهله اول و نگهداری نامناسب وضعیف از دستگاه‌ها و تجهیزات در حین بهره‌برداری در وهله دوم است. از آنالیز انفجار ذرات در داخل سیلوها می‌توان درس‌های مهمی را بدست آورد که در زیر به پاره‌ای از آن‌ها اشاره می‌شود:

۱- جلوگیری از شکل‌گیری یک جو انفجاری.

۲- نمایش دما در فضاهای درونی و استفاده از سیستم‌هایی که هرگونه افزایش غیر طبیعی دما را گزارش دهند.

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۳- نمایش دائمی راندمان گردگیرها[۱].

٤- بسته بودن کامل کیسه‌های فیلتر و یا استفاده از سیستم‌های معادل برای جلوگیری از پخش شدن ذرات در تاسیسات.

٥- ایزوله نمودن قسمت‌های مختلف سیلوها از یکدیگر.

٦- دور نمودن پروسه‌های منجر به تولید گرد و غبار در فضای بیرون از مکان قرارگیری تاسیسات.

۷- پرهیز از کاربرد انبارهایی با نسبت طول به قطر برابر ٥.

۸- در هنگام طراحی، باید فاصله ساختمان‌ها را از یکدیگر حداقل ۱/٥ برابر ارتفاع آن‌ها قرار داد.

۹- لوله‌های مربوط به هوا در پایین واحدهای انبار، مرتباً تمیز شوند.

۱۰- بهترین کار برای محدود کردن خطرات انفجار ذرات گرد و غبار غلات، نظافت دقیق و کامل محل کار می‌باشد.

حال در این قسمت به پاره‌ای نمودار و جدول در باب صدمات و خسارت‌های ناشی از انفجار گرد و غبارهای غلات می‌پردازیم

[۱]- Dust Collectors

ELVISF۳٥@yahoo.com

www.ParsBook.org

جدول(۱-۲)- گزارشی از انفجار ذرات در آمریکا در سال ۱۹۹۹.

تاریخ	شرکت	نشانی	مکان	میزان تخریب	تعداد کشته	تعداد مجروحین
۱ فوریه	ترمینال غلات جاکوبس	دی‌وایت	انبار غلات	متوسط	۰	۱
۳ فوریه	باترال	شروین	آسیاب خرد کننده غلات	متوسط	۰	۰
۱۹ آوریل	تعاونی فارمرز	کریاگ	آسیاب خرد کننده غلات	متوسط	۰	۱
۲ آگوست	فارمز امیک	مونتا	آسیاب خرد کننده غلات	متوسط	۰	۱۰
۱۶ آگوست	بونج	سویج	انبار غلات	زیاد	۰	۰
۳ سپتامبر	تعاونی هاروست سنکس	تریسی	انبار غلات	متوسط	۰	۰
۲۶ اکتبر	تعاونی ریدز ویل	ریدزویل	آسیاب خرد کننده غلات	زیاد	۰	۷

با توجه به نمودارهای ارائه شده در قسمت‌های قبل می‌توان نتیجه گرفت که خطر ایجاد احتراق و یا انفجار ذرات گرد و غبار غلات در بالابرها نسبت به سایر قسمت‌ها بیشتر است. به همین دلیل باید از پاره‌ای نکات ایمنی در این قسمت یاری جست که در زیر به پاره‌ای از آن‌ها اشاره می‌نماییم:

۱- در بالابرها لااقل باید یک برج پلکان از زیر زمین تا طبقه اول و از طبقه اول تا بالاترین طبقه منظور نمود؛ که آن باید در دهلیزهای غیر قابل احتراق و غبار ناپذیر ایجاد شده باشد.

۲- در سکوهای هر طبقه باید درهای غیر قابل احتراق خود بست قرار داد.

۳- یک پلکان خارجی یا راه فرار از حریق از نوع نردباتپن زنبیلی[۱] از بام کارگاه تا سطح زمین یا به بام بنای مجاور با دسترسی از کلیه طبقات بالای طبقه همکف، باید منظور داشت.

۱- Basket Ladder

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱-۱۳- انفجارهای اولیه و ثانویه

ذرات گرد و غبار معلق در هوا که به صورت یک توده می‌باشند، در صورت اشتعال به صورت منظم، لایه‌به‌لایه و بدون شعله می‌سوزند؛ اما اگر در لایه‌های ذرات گرد و غبار اغتشاش وجود داشته باشد، در این زمان ما با یک انفجار اولیه روبرو می‌شویم، که اغلب این انفجارهای اولیه در یک فضای بسته مانند دستگاه‌ها اتفاق می‌افتند و عمدتاً آن‌ها از نیروی لازم برای آسیب رساندن و یا شکستن دستگاه برخوردار هستند. حال اگر موج حاصل از انفجار اولیه وارد محیط اطراف شود، در این زمان ذرات گرد و غباری که رسوب کرده‌اند، بلند می‌شوند و بصورت معلق در هوا قرار گرفته و تشکیل ابر ذرات می‌دهند؛ حال در این حالت ممکن است که با یک انفجار ذرات دیگر روبرو بشویم که به آن انفجار ذرات ثانویه[۱] می‌گویند که نسبت به انفجار اولیه، انفجار بسیار عظیمی است. لازم بذکر است که همه انفجارهای بزرگ در اثر واکنش‌های زنجیره‌ای از این نوع بوجود می‌آیند.

۱-۱۴- مبنای ایمنی برای خطرات ناشی از انفجارتوده ذرات گرد وغبار

ایمنی در بحث انفجار ذرات شامل دو بخش می‌باشد که عبارتند از

۱- میزان موانع بازدارنده انفجار.

۲- میزان مهار کننده‌های انفجار.

در بخش موانع بازدارنده انفجار، ما با وضعیتی روبرو هستیم که طی آن‌ها از ایجاد انفجار جلوگیری بعمل می‌آوریم و در واقع با مرحله پیشگیری از انفجار روبرو هستیم، ولی در بخش دوم با طراحی و ساخت وسایلی روبرو هستیم که به کمک آن‌ها می‌توان پرسنل و ماشین آلات را از خسارت‌ها ی ناشی از انفجار ذرات محافظت نمود.

---

[۱]- Secondary Dust Explosion

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

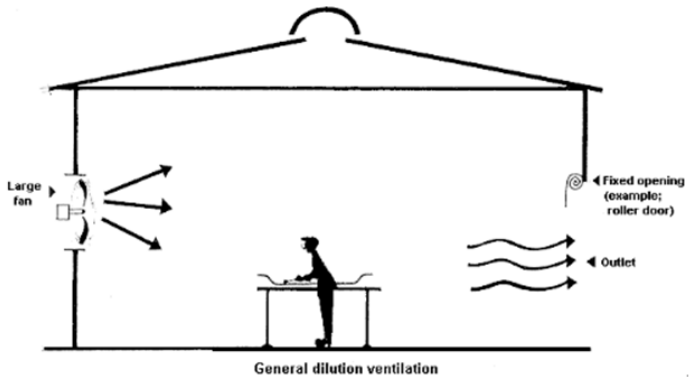
۱–۱۴– ۱– میزان موانع بازدارنده انفجار[۱]

۱–۱۴– ۱–۱– عدم شکل‌گیری توده گرد و غبار

در این بخش، با دو متد به منظور تصفیه هوا از این آلاینده‌ها و حذف آن‌ها و یا کنترل میزان گسترش این مواد در جو روبرو هستیم که آن‌ها عبارتند از

۱–۱۴– ۱–۱–۱– سیستم‌های تهویه رقیق‌سازی[۲]

در این متد همواره یک جریان هوای تازه به داخل و خارج ساختمان مورد نظر فراهم می‌شود و با استفاده از این روش می‌توان میزان تمرکز ذرات قابل اشتعال در داخل اتمسفر موجود در محل کار را کاهش داد. این روش قابلیت کنترل ذرات قابل اشتعال را در محل آزاد شدن آن‌ها و یا در کنار منبع آن‌ها ندارد و عمدتاً این روش، روش مناسبی برای کنترل تمرکز توده ذرات گرد و غبار در محیط کار نمی‌باشد و عمدتاً از آن به منظور کنترل تمرکز غبارات و گازها در محیط کار استفاده می‌شود.

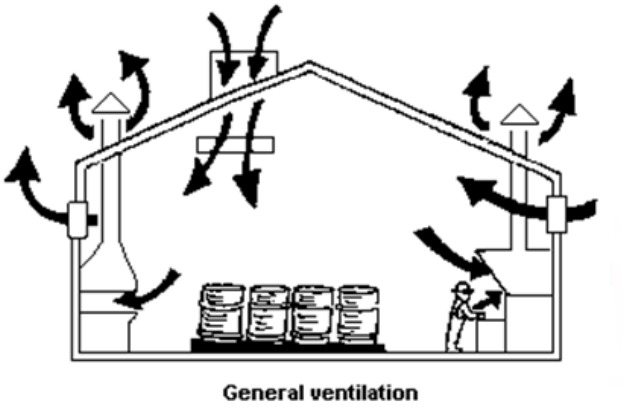


شکل(۱–۵)– یک تهویه عمومی.

[۱]- Explosion Prevention Measure
[۲]- Dilution Ventilation

ELVISF۳۵@yahoo.com

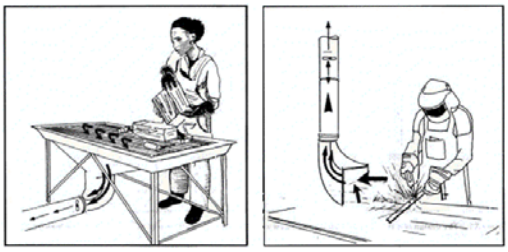
www.ParsBook.org



شکل(۱-٦)- یک تهویه عمومی.

۱-۱۴-۱-۱-۲-تهویه موضعی[۱]

با استفاده از این سیستم ذرات قابل اشتعال را بصورت موضعی در محل تولید آن‌ها جمع‌آوری می‌کنند و دیگر به آن‌ها اجازه پخش شدن در داخل محیط داده نمی‌شود. این سیستم از تاثیر مهم و مطلوبی در کنترل میزان گسترش ذرات گرد و غبار در داخل اتمسفر محیط کار برخوردار است و این سیستم نسبت به سیستم‌های عمومی خطر انفجار مواد را به شدت کاهش می‌دهد و علت آن این است که در آن از هوای کمتری استفاده می‌شود. از جمله سیستم‌های تهویه موضعی می‌توان به در پوش غبارگیر[۲] و فیلتر و فن‌ها اشاره کرد.



شکل(۱-۷)- تهویه موضعی.

[۱]- Local Exhaust Ventilation
[۲]- Dust Collection Hood

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

نکاتی در باب سیستم‌های تهویه

چنانچه بطور ساده مسئله را در نظر بگیریم، برای جلوگیری از انفجار کافیست که یا از تشکیل غبار بیش از حد در فضا جلو گیری کنیم و یا از ایجاد جرقه جلوگیری کنیم و چه بهتر کـه هـر دو کـار را بـا هـم انجام بدهیم. سازمان ملی مقابله با آتش سوزی نشریه‌ای در باب سیستم‌های تهویـه دارد و در آن نکـات زیر را متذکر می‌شود:

تاخیر زمانی در باز کردن تهویه تا آنجاست که فشار داخلی برای بـازکردن آن کـافی شـود؛ بنـابراین لازم است که تجهیزات بازکننده برای پایین‌ترین فشاری که بتواند، دریچه را باز کنـد طراحـی شـوند و سـازه پانل ضدانفجار یا باز کننده تهویه تا حد ممکن سبک ساخته شود. همچنین پیشنهاد می‌کند که دانـش روز ما درباره مکانیزم انفجارهای بزرگ و مقاومت سازه‌ها در مقابل نیروهای انفجار بـه انـدازه‌ای نیسـت کـه بتوانیم ضوابط دقیقی تدین و ارائه کنیم. از نتایج تجربی می‌توانیم بگوییم که هرگز نمی‌شود سطح تهویـه کافی تامین کنیم تا در مقابل انفجار ناشی از حد انفجار در یک حجـم بـزرگ کـاملاً عمـل کنـد. تجربـه همچنین نشان داده است که اغلب انفجارات ناشی از غبار و گازها، در سطوح خیلی بزرگ رخ نمی‌دهنـد و بنابر این انفجارات عظیم در حجم بسیار بزرگ به ندرت اتفاق می‌افتد؛ به همین دلیل تهویه کافی بـرای اغلب موارد می‌تواند بسیار سودمند باشد.

۱-۱۴-۱-۲- تخلیه کافی عامل اکسید کننده اتمسفر

در این روش اساس کم‌کردن میزان تمرکز عامل اکسید کننده محیط است؛ بطوریکه میزان آن را بـه کمتـر از حداقل تمرکز اکسنده‌های لازم می‌رسانند، که عمدتاً این کار را با اضافه کـردن گازهـای خنثـی بـه آن محیط مورد نظر انجام می‌دهند. گاز نیتروژن رایج‌ترین گازی اسـت کـه عمـدتاً از آن بـرای ایـن منظـور استفاده می‌شود، که علت آن در دسترس بودن کافی این گاز می‌باشد. البته از دیگر گازهای خنثی نیـز در

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

پاره‌ای از مواقع برای این منظور استفاده می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان بـه دی‌اکسـید کـربن، آرگـون، هلیوم، بخار آب و سوخت گازی (گازهای بی‌مصرف از یک مرحله از فرآیند) اشاره کرد. در این روش در ابتدا مقدار حداقل تمرکز اکسنده‌های لازم ذرات گرد و غبار را برای گـاز خنثـی‌ای کـه مـی‌خـواهیم مورد استفاده قرار دهیم، تعیین می‌نماییم و بر اساس آن مقدار گاز خنثی‌ای را که احتیاج داریم در داخـل یک ظرف مخصوص قرار می‌دهیم. حال نحوه عملکرد آن بدین گونه است، که در هنگام لـزوم، مقـداری از آن گاز را از داخل آن ظرف خارج می‌نماییم و بر اثر خروج آن از داخل ظرف یک پـرده‌ای از دود در منطقه موردنظر بوجود می‌آید که آن میزان تماس عوامل اکسید کننده با ذرات ریز جامـد را کـاهش مـی-دهد.

۱-۱۴-۱-۳- قابلیت اشتعال توده گرد و عبار توسط منابع اشتعال

عمدتاً منابع احتراقی که باعث بیشترین مقدار انفجار ذرات در فرآیندها شده‌انـد عبارتنـد ازجوشـکاری و برش‌کاری، حرارت و گرما و جرقه‌های تولید شده بوسیله شکست‌های مکانیکی و برخوردهای مکانیکی، آتش و مواد قابل احتراق، خود گرمایی، تخلیه الکتریکی الکتریسیته ساکن و جرقه‌های الکتریکی. لازم بـه ذکر است که لیست ارائه شده در قسمت فوق یک لیست جامع و کامل نمی‌باشد. حال در این قسمت بـه پاره‌ای مطلب در باب کنترل منابع احتراق می‌پردازیم

۱-۱۴-۱-۳-۱-کنترل منابع گرمایی و حرارتی

یک سطح داغ و گر م می‌تواند بصورت مستقیم یک توده گرد و غبار را مشتعل نماید و یا اینکه در ابتـدا آن لایه‌ای از گرد و غبار را که بر روی آن نشسته است محترق می‌نماید و بعد بدنبال آن کل توده گرد و غبار را مشتعل می‌نماید. در این قسمت به پاره‌ای نکات قابل ملاحظـه در بـاب جلـوگیری از احتـراق و مشتعل شدن یک توده گرد و غبار توسط یک سطح داغ اشاره می‌نماییم:

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱- در ابتدا باید بدنبال یک برنامه موثر به منظور دور کردن توده گرد و غبار از سطوح داغی که دارای پتانسیل احتراق ذرات می‌باشند، بود.

۲- درجه حرارت تجهیزاتی را که در فرآیندها شرکت دارند؛ کمتر از درجه حرارت خود گرمایی پودرها نگه داریم.

۳- پاره‌ای بازرسی‌های منظم و تعمیرات دوره‌ای خاص بر روی تجهیزاتی که در پروسه‌های تولید نقش دارند، انجام بدهیم. با این عمل ما می‌توانیم از گرم شدن بیش از اندازه آن‌ها جلوگیری بعمل بیاوریم. لازم به ذکر است که گرم شدن بیش از اندازه تجهیزات در کنار خطراتی که در باب انفجار ذرات دارد، می‌تواند منجر به ناموزونی تجهیزات و یا شل شدن بعضی از قسمت‌ها و قطعات آن‌ها شود.

٤- از اعمال بارهای اضافی بر روی دستگاه‌هایی به مانند ماشین سمباده و سنگ‌زنی و سیستم‌های باربری با نوار نقاله جلوگیری بعمل آوریم؛ لازم به ذکر است که اعمال بارهای اضافی بر روی این تجهیزات به منظور محافظت کردن آن‌ها از حرکات موتور انجام می‌شود.

۵- با استفاده از پاره‌ای وسایل جدا کننده مناسب از قبیل جدا کننده‌های آهنربایی یا جداکننده‌های پنیوماتیکی از ورود اشیای خارجی به داخل تجهیزات جلوگیری به عمل بیاوریم.

٦- لایه‌های گرد و غبار و توده‌های آن‌ها را از مجاورت با سطوح داغ محافظت نماییم.

۷- از تجهیزات الکتریکی تایید شده که دارای نرخ حرارتی صحیح می‌باشند، استفاده نماییم.

۱-۱۴-۱-۳-۲- کنترل میزان اصطکاک و جرقه‌های ناشی از تصادم قطعات

پتانسیل اصطکاک و جرقه‌های ناشی از تصادم سطوح، در به احتراق درآوردن یک اتمسفر قابل اشتعال، به پاره‌ای عوامل وابسته است که آن عوامل از نحوه برخورد سطوح با یکدیگر منشاء می‌گیرند. در هر کاری که احتمال حضور اصطکاک و یا جرقه‌های ناشی از تصادم سطوح است، باید از حضور

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

اتمسفرهای قابل اشتعال جلوگیری بعمل آورد؛ که این اتمسفرها می‌توانند حاوی گازها یا بخارات و یا غبارهای قابل اشتعال باشند. علاوه بر آن بهتر است که سطوح سخت به مانند سطوح بتونی یا آجری یا سنگی همیشه بوسیله مقداری آب، خوب خیس نگه داریم و یا اینکه از یک تشک لاستیکی نرم به منظور پوشش آن‌ها استفاده نماییم و مناسب است که برای قطعاتی که احتمال افتادن آن‌ها وجود دارد از یک بالشتک مناسب استفاده نماییم.

۱-۱۴-۱-۳-۳- جوشکاری، برشکاری و فعالیت‌ها و فرآیندهای کارگرم مشابه

در حالت کلی باید توده‌های گرد و غبار و یا رسوبات گرد و غبار را از سطوحی که بر روی آن‌ها در حال انجام جوشکاری، لحیم کاری، برشکاری و یا هر فرآیند مشابه با این اعمال می‌باشد، دور نماییم.

۱-۱۴-۱-۳-۴- تجهیزات و وسایل الکتریکی

باید کلیه تجهیزات الکتریکی و سیستم‌های سیم‌کشی را براساس مقاله شماره ۵۰۰ ضوابط و اصول بین المللی برق[۱] راه‌اندازی نماییم. در این مورد ما با یک منطقه برقی آزمایشی طبقه‌بندی شده روبرو هستیم که آن شامل یک منطقه گسترده شناسایی شده است، که در آن قابلیت احتراق مواد در شرایط عادی و شرایط غیر عادی مورد بررسی قرار می‌گیرد و این آزمایش‌ها با دقت مناسب تضمین می‌نمایند که آیا تجهیزات الکتریکی مورد نظر ما می‌توانند به عنوان یک منبع احتراق عمل نمایند یا خیر.

۱-۱۴-۱-۳-۵- پاره‌ای نکات احتیاطی در باب خطرات منابع الکتریسیته ساکن

الف- اتصال به زمین[۲]

جرقه‌های ناشی از تخلیه الکتریکی را می‌توان با ایجاد اتصال به زمین در باب تجهیزات مهار نمود که از

۱- NEC
۲- Bonding and Grounding

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

جمله این تجهیزات می‌توان به تجهیزات فازی، غلتک‌های فیبری، خطوط رسانا، پودرهایی بـا مقاومـت-های پایین و نفرات و پرسنل مشغول اشاره کرد.

ب- استفاده از مواد عایق[۱]

در مکان‌هایی که فرآیندهایی با تخلیه الکتریکی بسیار بالا در سطوح وجـود دارد، اسـتفاده از مـواد غیـر هادی مناسب نیست، مگر اینکه میزان ولتاژ آن‌ها کمتراز ٤٠kv باشد. از جمله تجهیزات غیر هادی مـی-توان به لوله‌های پلاستیکی، ظروف پلاستیکی، کیف‌ها و ساک‌های پلاسـتیکی و روکـش و پوشـش‌هـای خاص اشاره نمود.

ج- کاهش بار الکتریکی بوسیله رطوبت افزایی[۲]

رطوبت نسبی بالا می‌تواند منجر به کم شدن مقاومت ویژه بعضی از پودرها شود و در نتیجه افزایش نرخ بار الکتریکی مخرب از پودرهای حجیم در ظروف فلزی اتصال داده شده بـه زمـین شـود، اگـر چـه در بیشتر موارد این امر در حالتی تحقق می‌یابد که میزان رطوبت نسبی موجود در محیط در حدود ٦٥٪ نگه داشته شود.

د- کاهش بار الکتریکی بوسیله یونیزاسیون[۳]

استفاده از یونیزاسیون موضعی (تخلیه هاله‌ای، تخلیه هاله‌دار) در مناطق نوک تیز، مکـان‌هـای اتصـال بـه زمین، پراب‌های هادی یا در سیم‌ها می‌تواند منجر به کاهش سطح بار الکترواستاتیکی پودرهای ویـژه در هنگام ورود به یک ظرف شود. لازم به ذکر است که وسایل یونیزاسـیون الکترواسـتاتیکی بـدون مشـکل نمی‌باشند و باید نقطه بعد از پیشنهاد یک متخصص مورد استفاده قرار بگیرند.

۱- Use Of Insulation Materials
۲- Charge Reduction by Humidification
۳- Charge Reduction by Ionization

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱-۱۴-۲- میزان مهار کننده‌های انفجار[۱]

اگر نتوان از شکل‌گیری یک اتمسفر انفجاری جلوگیری کرد و نتوان تمام منابع احتراق را بصورت منطقی حذف نمود، در این زمان است که احتمال انفجار یک توده گرد و غبار وجود دارد. تحت این شرایط با استفاده از تجهیزات ایمنی در برابر انفجار می‌توان از پرسنل محافظت نمود و میزان خسارت-های ناشی از آن انفجار را در کارخانه به حداقل رساند. در این بخش به پاره‌ای از تجهیزات که برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند، اشاره می‌نماییم

۱-۱۴-۲-۱- سدهای انفجاری[۲]

اساس این تجهیزات به این گونه است که در برابر ماکزیمم مقدار فشار انفجاری که از احتراق شدید گرد و غبار موجود در محیط کار به وجود می‌آید، مقاومت می‌نماید و بدین صورت از صدمه دیدن پرسنل و تجهیزات موجود در آنجا جلوگیری بعمل می‌آورد.

شکل (۱-۸) – یک سد انفجاری متحرک.

[۱]- Explosion Protection Measure
[۲]- Explosion Containment

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱-۱۴-۲-۲- بازدارنده انفجاری[۱]

این وسیله شامل یک کاشف انفجار در مراحل اولیه و یک بازدارنده با فرونشاننده مناسب است. در حالت کلی یک سیستم نرمال بازدارنده انفجار از یک کاشف انفجار، واحد کنترل، بازدارنده و یک فرونشاننده مناسب تشکیل شده است.

۱-۱۴-۲-۳- هواکش اطمینان انفجار[۲]

این وسیله شامل یک آزاد کننده محصولات انفجار (فشار و شعله) از فضای کارخانه به یک مکان ایمن می باشد. اساس و علکرد اصلی این وسیله بدین گونه است که در هنگام انفجار یک توده گرد و غبار در داخل یک محوطه و یا یک ظرف، هواکش و یا درچه اطمینان آن باز می‌شود و گازهای داغ و آتش ناشی از این انفجار را به یک مکان ایمن هدایت می‌نماید.

۱-۱۴-۲-۴- تجهیزات ایزو لاسیون (عایق‌کاری، جداسازی) انفجار[۳]

انفجار ذرات می‌تواند از طریق کانال‌ها و مجاری و سطوح شیب‌دار و کانال‌های پرتابی و باربرهای نقاله-ای و ... انتشار پیدا نماید و باعث ایجاد یک انفجار ثانویه در دیگر تجهیزات و یا دیگر نواحی کارخانه شود. بنابراین علی رغم وجود تجهیزات ایمنی در برابر انفجار به منظور جلوگیری از انتشار انفجار توده ذرات از مکان شکل‌گیری به دیگر مکان‌های کارخانه باید از پاره‌ای عایق‌های انفجاری استفاده نمود.

لازم به ذکر است که عمدتاً سدها و موانعی که برای عایق‌سازی یک انفجار ذرات وجود دارد دو نوع می‌باشد که عبارتند از

۱- موانع مکانیکی ۲- موانع شیمیایی

۱- Explosion Suppression
۲- Explosion Relief Ventig
۳- Explosion Isolation Measures

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱-۱۴-۲-۵- سایر تجهیزات ضد انفجار

تعدادی چند سیستم‌های ضد انفجار دیگر موجود است؛ منجمله مانند یابنده‌های فشار، توموکوبل‌های سریع، یابنده‌های امواج، یابنده‌های فشار انفجار در لحظه رسیدن به حد انفجار و تخلیه فشار و خاموش کردن آتش و رطوبت‌زن. این سیستم آخری می‌تواند به فرمان راه‌اندازی تهویه، متوقف کردن تجهیزات و براه‌اندازی آژیرها مجهز باشد. چنین مجموعه‌هایی معمولاً برای سیلو و کندوی انبار مواد منفجره بکار می‌رود. در زیر به‌پاره‌ای از این تجهیزات اشاره می‌نماییم

۱-۱۴-۲-۵-۱- سقف تخلیه فشار

می‌توان سقف سیلو را طوری طراحی کرد که در مجموع بعنوان تخلیه کننده فشار انفجار عمل کند. برای این منظور سقف را بصورت اسکلت فلزی از فولاد نرمه می‌سازند تا وزن آن سبک‌تر باشد. شکل سقف ممکن است تخت، مخروطی و یا کره‌ای انتخاب شود. چنین سقفی باید به اندازه کافی قوی طراحی شود تا در موقع عمل و تخلیه فشار تغییر شکل مانا در آن ایجاد نشود. سقف از این نوع نباید به هیچ وجه در محل تثبیت شود، بلکه باید فقط روی وزن خودش تکیه کند و برای آن کشو و راهنما در نظر گرفته شود که پس از جابجایی و تخلیه فشار به آسانی به محل اولیه خود برگردد. تجهیزاتی که بالا و یا زیر سقف قرار می‌گیرند، باید طوری طراحی شود که مانع حرکت سقف نباشد و نقاله‌های بالای سری، لوله‌ها، پیاده‌روها و غیره باید به دیوار سیلو متکی باشد، نه به سقف. لازم بذکر است که راهنماهای حرکت سقف را می‌توان روی سطح خارجی یا داخلی دیوار سیلو نصب کرد.

۱-۱۴-۲-۵-۲- تجهیزات هوارسان

هر دستگاه محصوری که در معرض ذرات گرد و غبار قابل اشتعال باشد، احتمال وقوع انفجار در آن وجود دارد. یکی از ارزان‌ترین و مورد استفاده‌ترین راه‌های حفاظت، هوارسانی کمکی است؛ که در آن

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

فشار بالا رفته از طریق انفجار به وسیله منفذها، صفحات جداکننده یا درهای انفجاری کم می‌شود. این تجهیزات کمکی باید در لحظه‌های خطر فوراً وارد عمل شوند. بنابراین باید یک ضریب اطمینان بسیار کوچک بین فشار عملکرد هوارسان و فشار انفجار دستگاه وجود داشته باشد. با این روش و با این تجهیزات، بوسیله پایین نگه داشتن سطح فشار انفجار در مقداری پایین‌تر از استحکام نهایی طراحی مخزن و تخلیه محصولات انفجار به طور صحیح؛ می‌توان از آسیب‌های جدی انفجار جلوگیری کرد.

اندازه دستگاه هوارسان وابسته به پارامترهای زیر می‌باشد:

۱- نرخ بالا رفتن فشار مواد قابل اشتعال.

۲- استحکام تسلیم مخزن.

۳- حجم مخزن.

٤- قابلیت تداوم منبع احتراق.

٥- فشار هوارسانی.

یک راه موثر برای هوارسانی درست، قرار دادن دستگاه در یک فضای باز یا زیر یک ساختمان سبک ضد آب است؛ به طوری که شعله گازهای داغ و گرد در حال سوختن با کمترین خطر به بیرون هدایت شوند. اگر این امر امکان پذیر نباشد، هوارسانی باید از طریق یک لوله کوتاه، راست و محکم انجام شود که آن لوله باید بتواند حداکثر فشار اعمال شده را تحمل کند. لازم به ذکر است که وجود هر لوله باعث ناپایداری در سیستم می‌شود که برای غلبه براین ناپایداری باید استحکام تسلیم در مخزن بیشتر شود. لازم به ذکر است که طول لوله هوارسان نباید از۳ متر بیشتر شود و اگر امکان پذیر نبود، باید سطح لوله را بزرگ انتخاب نمود به این خاطر که افزایش طول لوله موجب افزایش ناپایداری سیستم می‌شود.

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱-۱۴-۲-۵-۳- پانل‌های پاره شونده

استفاده از مصالح پاره‌شونده، روش دیگری برای کاهش اثرات انفجار ذرات گرد و غبار است. این پنجره‌ها از ورق نازک آلومینیوم و یا پلی‌اتیلن و نظائر آن ساخته می‌شوند که در مقابل فشار داخلی معینی پاره می‌شوند و بدین صورت فشار را تخلیه می‌نمایند. پانل‌های پاره شونده بصورت دایره، چهار گوش و مستطیل در ابعاد مختلف و برای فشارهای مختلف در بازار یافت می‌شوند.

۱-۱۵- مدل‌های بررسی انفجار ذرات

نمونه‌های تاریخی انفجارات توده‌های ذرات گرد و غبار نماینگر، فهم ضعیف و نامناسب ما از تاثیرات احتراق‌هایی با سرعت و نور و حرارت بسیار بالاست. به طور کلی در مدل‌های رایجی که دارای یک درجه آزادی می‌باشند، می‌توان خسارت‌ها و جراحات ناشی از انفجار ذرات گرد و غبار را بوسیله دیاگرام‌های فشار- تکانه بدست آورد، به گونه‌ای که این خسارت‌ها و جراحت‌ها عمدتاً در مناطقی که فشار بالاست یا با فشار دینامیکی یا تکانه دینامیکی یا استمرار ضربات روبرو هستیم، بوجود می‌آیند. ماکزیمم مقدار فشار به همراه مدت استمرار آن به منظور محاسبه تکانه‌های ناشی از امواج سیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. حتی بسیاری از مدل‌های پیشرفته انفجار، تاثیرات ناشی از انعکاس نامحسوس امواج انفجار از ساختمان مواد را نادیده می‌گیرند، که این امر باعث می‌شود که مقادیری غلط که بیشتر و یا کمتر از مقدار اصلی آسیب‌پذیری ساختمان مواد است را اعلام نمایند. امروزه از نرم‌افزارهایی خاص به منظور تولید مدل‌های سه‌بعدی برای بیان اثرات ناشی از انفجار توده‌های بخار استفاده می‌شود، که با استفاده از آن‌ها می‌توان خسارت‌های ناشی از این انفجارات را در هر ساختمانی به سهو لت ارزیابی کرد. از ویژگی‌های خاص این نرم‌افزارها، ارائه نتایج حاصل از انفجار اولیه توده‌های بخار و هر انفجار ثانویه همراه با آن است.[۵]

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۱-۱۶- انفجار نانوپودرها

با تحقیق مقدماتی در مقالات، تنها یک منبع در مورد مشخصات انفجار نانوپودرها بدست آمد که در آن ذرات ریز آلومینیوم با سایز متوسط ۱۸۰ نانومتر مورد بررسی قرار گرفته است که در نتیجه آن با اعداد و ارقام زیر روبرو شدیم:

میزان شدت انفجار = ۳۲۲ bar.m/s بیشینه فشار = ۹/٤ bar

حداقل مقدار غلظت اکسیژن = ۵ ٪ کمترین مقدار انرژی منبع احتراق = ۱-۳ mj

شایان ذکراست که در اینجا اندازه بیشینه فشار و میزان شدت انفجار کمتر از مقدار گزارش شده برای پودر آلومینیوم با اندازه متوسط ۱۰ میکرون است، اما میزان کمترین مقدار انرژی منبع احتراق آن بیشتر است و میزان حداقل غلظت اکسیژن نیز قابل مقایسه است. بر اساس مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که خطر انفجار ذرات نانوآلومینیوم، کمتر از ذرات درشت میکرونی آن می‌باشد. حال در آزمایش انجام شده فوق ۳ نکته قابل توجه می‌باشد که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌نماییم:

۱- پودرآلومینیوم آزمایش شده، شامل ذراتی با اندازه‌های نانومتر می‌باشد، ولی اندازه آن ذرات خارج از تعریف معمول است (باید اندازه ذرات بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد).

۲- اکسید روی فلز، که در مجاورت هوا رخ می‌دهد، می‌تواند سبب کاهش فعال بودن آن ذره شود؛ بنابراین اگر اکسیداسیون قبل از بررسی رفتار انفجار رخ دهد، نتایج بدست آمده مقادیر کمتری برای بیشینه فشار نشان خواهد داد.

۳- از طرفی دیگر ذرات ریز می‌توانند متراکم شوند و به ذرات بزرگتری تبدیل شوند (فلوکولاسیون) که این امر سبب کاهش فعال بودن ذرات می‌شود.

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

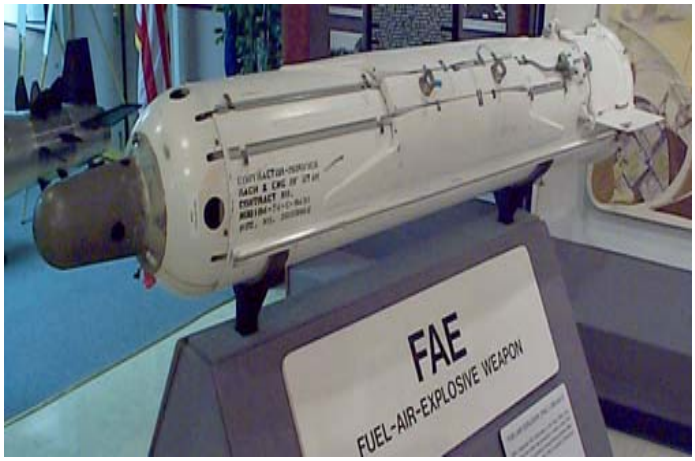
دوره‌ای که در آن انفجار می‌تواند آغاز شود بسیار کوتاه است، به صورتی که با یک حساب سرانگشتی می‌توان دریافت که ذرات بسیار ریز در حد یک میکرون، برای مدت زیادی می‌توانند در هوا معلق بمانند و از طرفی ذرات نانو نسبت به ذرات میکرو برای مدت بیشتری می‌توانند در هوا به صورت معلق باقی بمانند و این امر بدین معنی است که خطر انفجار نانو ذرات می‌تواند طولانی‌تر از ذرات میکرونی همان ماده باشد. نانوپودرها به خاطر مساحت مخصوص بزرگشان در هنگام استفاده ممکن است تحت بار زیادی قرار بگیرند، بنابراین این امر خود می‌تواند منبع احتراق آن‌ها باشد، در صورتی که آن‌ها بصورت ابرهای قابل احتراق پخش شوند. سازگاری با آتش گرفتن آسان‌تر حقیقتی است که بعضی از نانوپودرها دارا می‌باشند که آن‌ها خود به خود در مجاورت هوا آتش می‌گیرند؛ که از جمله مثالی برای این نوع از نانوپودرها می‌توان به نانوپودر آهن اشاره کرد. در نهایت می‌توان به این نکته اشاره کرد که: داده‌های موجود در انفجار ذرات در ابعاد میکرو را نمی‌توان برای نانوپودرها تعمیم داد.[۵]

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

فصل دوم

انفجار سوخت/ هوا



ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۲-۱- تاریخچه

نوعی سلاح حرارتی است که امروزه در رزم‌ها ودرگیری‌ها از آن به مقدار قابل ملاحظه‌ای استفاده می-شود. تاریخچه این سلاح را می‌توان به شعله افکن‌هایی[۱] مربوط دانست که در جریان جنگ جهانی اول در درگیری‌های سنگری مورد استفاده قرار می‌گرفتند (لازم به ذکر است که این شعله‌افکن‌ها برای اولین بار توسط آلمان‌ها ساخته شدند) و با استفاده از این شعله‌افکن‌ها به راحتی می‌توانستند نفراتی را که در پناهگاه‌ها و سنگرهای بتونی، خود را از تاثیرات بمب‌ها محافظت کرده بودند، خفه کنند. لازم به ذکر است که این نوع سلاح با عنوان‌های دیگری نیز مطرح می‌باشد، که از جمله آن‌ها می‌توان به سلاح حرارتی[۲] و بمب خلا[۳] اشاره کرد. می‌توان زمان شروع به پیشرفت این سلاح‌ها را دهه ۱۹۶۰ دانست که در این دوران این سلاح‌ها توسط ارتش ایالت متحده آمریکا درطول جنگ با ویتنام به منظور از بین بردن ویت کونگی‌هایی که در پناهگاه‌ها بودند و یا از بین بردن جنگل‌ها به منظور تولید مکانی برای نشستن هلیکوپترها و یا برای از بین بردن مناطق مین‌گذاری شده مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که این سلاح‌ها و بمب‌های حرارتی را که آمریکا در جنگ ویتنام به کار برد بصورت بمب‌های خوشه‌ای[۴] بودند که آن‌ها در مرکز تسلیحاتی وابسته به نیروی دریایی آمریکا در دریاچه چین و کالیفرنیا تهیه شده بودند. بخشی از سلاح‌های هم‌خانواده FAE مثل FAE-I,Slu-FAE,MAD-FAE,CATFAE نیز در دهه ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ در مرکز تسلیحات نیروی دریایی آمریکا در دریاچه چین بصورت Blu-95(500b) و Blu-96(2000b) ارتقا یافتند. از طرفی واحدهای پرتابی سطحی FAE برای کمک به تفنگداران نیروی دریایی ارتش آمریکا ارتقا یافتند که توسعه این سیستم‌ها از روی برنامه نهایی Slu-FAE صورت گرفت.

۱- Flamethrowers
۲- Thermobaric Weapon
۳- Vaccum Bomb
۴- Cluster Bomb Unit (CBU)

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

شایان ذکر است که ارتش شوروی سابق از تعداد زیادی از این تسلیحات برخوردار است و بـرای اولـین بار در سال ۱۹۶۹ در درگیری‌های مرزی که با ارتش چین داشت، از این سلاح استفاده کرد و ضمناً از آن در افغانستان و چچن نیز استفاده نمود، از طرف دیگر یک سیستمی از FAE توسط ارتش اسـرائیل ارائـه شد که در آن این سیستم در بخش جلو برنده ترموباریک یک راکت کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نهایت این سلاح برای جنگ‌ها و درگیری‌ها وحتی برای استفاده‌های صلح جویانـه گسـترش یافـت و با محدود کردن تاثیرات آن، خسارت‌های فرعی و جانبی آن حذف شد و در حال حاضر تحـت خـانواده سلاح‌های صحرایی در حال گسترش است.

۲-۲- کاربردهای نظامی FAE

کاربردهای نظامی این سلاح عمدتاً شامل انفجار توده‌ای بخار است که بر اثر آن انفجار عمدتاً خسـارت-های متنوعی ایجاد می‌شود. بطور کلی از این سلاح در برابراهداف نرم مانند نـواحی مـین‌گـذاری شـده، ادوات زرهی، انبارهای سوخت ومهمات، هواپیماهای مستقر در فضاهای باز، ایجادشـکاف در موانـع، از بین بردن جنگل‌ها بمنظور اهداف خاص مانند ایجاد مکانی برای نشستن هلیکوپترها وازبین بردن پرسنلی که در داخل غارها و یا پناهگاه‌های زیر زمینی مخفی شده‌اند استفاده می‌گردد. لازم به ذکر است کـه ایـن سلاح‌ها در برابر موانع سیمی مثل سیم خاردارها از تاثیر کمی برخوردارند.

۲-۳- تاثیرات FAE

در انفجارات ناشی از این نوع سلاح، فشار ناشی از انفجار می‌تواند به (430PSI)3MPA و دمـا بـه ۳۰۰۰-۲۵۰۰ درجه سانتیگراد برسد و موج انفجار ناشی از این توده‌ها می‌تواند بـا سـرعت بـیش از ۳ کیلـومتر در ثانیه حرکت نماید. در این سلاح، موج‌های انفجار بـه راحتـی مـی‌تواننـد سـاختمان‌هـای تقویـت نشـده و تجهیزات را تخریب نمایند و تاثیرات ضد نفر ناشی از این موج‌های انفجـار، بـر روی پرسـنلی کـه دارای

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

پوشش زرهی هستند و یا داخل سنگرها قرار دارند و یا در فضاهای بسته خشک مثل غارها، ساختمان‌ها و پناهگاه‌ها ی زیرزمینی قرار دارند، به مراتب بیشتر از دیگر جاهاست. وقتی موج‌های ناشی از انفجار FAE از یک مکانی بگذرند، در پشت آن‌ها یک خلاء به وجود می‌آید، که در این زمان بر اثر برگشت هوا به مکان اول خود، قطعاتی که شل باشند را با خود به داخل می‌کشد و شاید یکی از نکات قابل توجه این است که این خلاء سوخت‌هایی را که در حال سوختن می‌باشند و منفجر نشده‌اند، را به داخل می‌مکد و بر اثر این مکش در تمام اشیا و قطعاتی که بدون منفد بودن، یک منفذی ایجاد می‌نماید و بدین صورت آن قطعه را نابود می‌سازد. همچنین برای نفراتی که در بیرون از منطقه موثر این انفجار قرار دارند، ممکن است خفگی و خسارت‌های داخلی بدنبال داشته باشند. در مقایسه FAE با مواد منفجره رایج به این نکته دست می‌یابیم که مدت و استمرار امواج FAE خیلی بیشتر از مواد منفجره رایج است و از طرفی میزان تکانه و ضربه آن نیز به مراتب بیشتر از مواد منفجره رایج است و این امر باعث می‌شود از پتانسیل زیادی برای انجام کار بر روی محیط پیرامونش برخوردار باشد. از طرفی با استفاده از جدول زیر در می‌یابیم که سرعت و فشار شروع احتراق FAE خیلی کمتر از یک ماده منفجره هم‌ارز و معادلش است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که FAE از قدرت خردکنندگی کمتری برخوردار است.[٦]

ELVISF٣٥@yahoo.com

www.ParsBook.org

جدول (۲-۱)- سرعت و فشار شروع احتراق‌های FAE و تی.ان.تی.

سرعت شروع احتراق (متر بر ثانیه)	فشار شروع احتراق (بار)	نوع ماده
٦٩٥٠	١٩٠٠٠٠	تی.ان.تی [1]
١٨٠٠	١٩	FAE

از طرفی دیگر در مواد منفجره متعارف ما دارای یک نقطه چشمه[2] می‌باشیم که فشار انفجار در آن بسیار بالا است، اما با افزایش فاصله از این نقطه، میزان فشار نیز به سرعت افت می‌کند، اما بر خلاف آن‌ها در انفجارهای FAE چشمه یک توده بزرگ است (بطوریکه برای سیستمی با وزن ۳۳ کیلوگرم، قطر این چشمه بیش از ۳۰ متر می‌باشد.) و سرعت و میزان افت فشار با افزایش فاصله نسبت به کناره‌های توده ذرات گرد و غبار در سیستم‌های FAE نسبت به مواد منفجره متعارف خیلی کمتر است.

جدول (۲-۲)- حداکثر فشار با فاصله از توده ابر در سیستم‌های FAE.

درصد معادل با فشار تی.ان.تی درهمان فاصله	فاصله جانبی از کناره‌های توده ابر (متر)
٥٠	١٠
١٣٩	٢٠
٣٧٤	٥٠

تاثیراتی که بوسیله FAE تولید می‌شود، اغلب شبیه تاثیراتی هستند که توسط سلاح‌های هسته‌ای با بار کم تولید می‌شوند، اما آن‌ها بدون مشکل تشعشع می‌باشند و از طرف دیگر از این بارهای اسمی، مقدار بسیار

[1]- TNT
[2]- Point Source

ELVISF٣٥@yahoo.com

www.ParsBook.org

کمی در هنگام انفجار آزاد می‌شوند. عمدتاً سلاح‌های کشتار جمعی، جراحت‌های قابل ملاحظه‌ای را تولید می‌کنند و این در حالی است که تاثیرات سلاح‌های حرارتی بسیار بیشتر از آن‌هاست. از طرفی در نگاه اول، ماکزیمم مقدار فشار اجرایی FAE از تی.ان.تی کمتر است و این امر باعث می‌شود که آن غیر مفید بنظر برسد، اما تجربه وآزمایشات ثابت کرده است که تی.ان.تی در مقابل افراد و پوسته‌های نرم خودروها وآشیانه‌های هواپیماها و آرایش آنتن‌ها غیرموثر و غیرمفید می‌باشد. لازم به ذکر است که در فواصل نزدیک تفاوت عمده‌ای بین انفجارات ناشی از توده‌های بخار و انفجارات ناشی از مواد منفجره با قدرت انفجار بالاست، بطور مثال مقدار انرژی که از انفجار مواد منفجره با فشار بالا تولید می‌شود خیلی بیشتر از انرژی است که از انفجار توده‌های بخار حاصل می‌شود، اما میزان تکانه ویا قوه محرکه آنی آن از انفجار توده‌های بخار کمتر است. طول موج امواج ناشی از انفجار تی.ان.تی تقریبا کوتاه می‌باشد، در حالی که طول موج امواج حاصل از انفجار هیدروکربن‌ها که اساس سلاح‌های حرارتی می‌باشد، بلند است و در انفجار این سلاح، زمان استمرار فازهای مثبت امواج سیار یکی از پارامترهای مهم تجزیه و تحلیل انفجار می‌باشد.[٦]

۲-۴- عملکرد FAE

عدم وجود یک عامل اکسیدکننده در این سیستم‌ها، باعث می‌شود که به نسبت بسیار زیادی، بار مفید آن‌ها که مربوط به سوخت موجود در آن‌هاست افزایش یابد و بر این اساس از لحاظ تئوری در نقطه هدف انرژی بسیار زیادی توسط بار مفید حمل شده رها می‌شود. این سلاح از دو ظرف تشکیل شده است که ظرف اول آن شامل یک مایع فرار و یا یک ترکیب انفجاری بی‌نهایت پودر شده است که به مانند یک دوغاب در داخل آن قرار می‌گیرد و ظرف دوم آن یک بخش متمایز از ظرف اول است که شامل پاره‌ای مواد منفجره است. نحوه عملکرد این سلاح بدین صورت است که بعد از پرتاب، ظرف اول آن (که مربوط به مکانیزم پخش و انتشار مواد می‌باشد) در یک ارتفاع خاصی منفجر می‌شود و بر اثرانفجار آن، سوخت-

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

هایی که در داخل آن قرار دارند به صورت یک توده ابر پخش می‌شوند و بعد از پخش بلافاصله با اکسیژن موجود در محیط ترکیب می‌شوند و سپس دومین قسمت منفجر می‌شود، که بر اثر این انفجار، یک انفجار عظیم در توده‌های ابر ایجاد می‌شود که این انفجار دارای موج انفجار بسیار بالایی است. در این سیستم حرارت بسیار زیادی به واسطه انفجار سوخت‌ها حاصل می‌شود و از طرفی انرژی مفیدی که در این سیستم‌ها آزاد می‌شود، در حدود بیش از ۱۰ برابر انرژی آزاد شده توسط تی.ان.تی در شرایط یکسان است. از طرفی هوا دارای ۲۱ درصد اکسیژن است که این امر منجر می‌شود که راندمان انفجاری این سیستم کمتر از ٤٠ درصد باشد. حال نیتروژن موجود در هوا باعث رقیق شدن این سیستم می‌شود و مقداری از گرمای محیط را جذب می‌کند و منجر به تمرکز یافتن سوخت در یک نقطه از محیط می‌شود که این امر از تاثیری منفی بر روی فرآیند این سیستم‌ها برخوردار است. در شکل نحوهٔ عملکرد FAE نشان داده می‌شود.

شکل(۲-۱) نمایی از عملکرد FAE.

۲-۵- مواد به کاربرده شده در FAE

به طور کلی در تمامی موادی که در این سلاح مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ تمام فاکتورهای سمیت، قابلیت خوردگی، پایداری، قابلیت احتراق و قابلیت انفجار مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. نکته قابل توجه این است که در این سلاح از اکسیداتیلن و اکسید پروپیلن نیز استفاده می‌شود که این دو گاز هم از

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

قابلیت احتراق بالایی برخوردارند و هم بسیار سمی می‌باشند و استفاده از این دو گاز باعث می‌شود که اگر سوخت موجود در این سلاح به هر علتی مشتعل نگردد، سلاح مذکور به خاطر وجود این دو گاز به مانند یک سلاح شیمیایی عمل نماید. بر اساس بررسی‌های انجام شده به این نتیجه رسیدیم که در این سلاح به منظور افزایش کارآیی آن در صورت امکان می‌توان از پاره‌ای از مشتقات هالوژنه اتیلن و پروپیلن استفاده کرد که در این میان حتماً باید قابلیت خوردگی آن‌ها مورد مطالعه بیشتری قرار بگیرد. در زیر به یک نمونه از این مشتقات به صورت مختصر اشاره می‌نماییم

منو کلرو اتیلن[1] یا وینیل کلراید[2]

الف- خطرات آتش‌سوزی و انفجار آن بزرگترین مسئله می‌باشد ولی سمیت آن بطور کلی کم است و فقط روی سلسله اعصاب مرکزی اثر کرده و ایجاد گیجی و بی‌نظمی در حرکات می‌نماید.

ب- حداکثر تراکم مجاز آن توسط امی‌جی‌آی‌اچ در ۱۹۸٦ به مقدار ۵ پی‌پی‌ام تعیین گردیده است.

ج- حد اشتعال آن پایین‌تر از ۰/۰٤ و یا بالاتر از ۰/۰۲۲ حجمی است.[٦]

۲-۶- حد بالا و پایین FAE

این سلاح زمانی از کارآیی مناسب برخوردار است که سوخت با یک غلظت مناسب در هوا پخش شود، به همین علت از فاکتورها و ضرایب حد بالا و پایین انفجار برای موادی که در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده می‌شود. این امر از این مزیت برخوردار است که با استفاده از آن می‌توانیم پوششی مناسب و ایمن را در برابر این انفجارها، تعیین نماییم. سوخت‌های موجود در این سلاح به کمک یک بخش انفجاری مرکزی پخش می‌شوند، که این امر منجر به تولید توده ابری می‌شود که در آن قطرات ریز قابل انفجار و بخار آن‌ها با هوای پیرامونشان ترکیب می‌شوند. این توده ابر بعد از حدود ۰/۱ تا ۵ ثانیه منفجر می‌شود که

[1]--Monochloroethylene
[2]- Vinyl chloride

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

این زمان بستگی به سیستم مورد نظر دارد. در طول این زمان تعداد زیادی از این قطرات ریز بخار می‌شوند که این امر باعث گسترش توده ابر مورد نظر می‌شود، اما از طرفی دیگر این امر باعث می‌شود که غلظت توده ابر مذکور در یک نقطه با نقصان روبرو شود که در نتیجه این امر، اثر و کارآیی این سلاح بشدت کاهش می‌یابد. به همین دلیل است که در این سلاح باید از سوخت‌هایی استفاده نمود که از رنج بالایی در حد بالا و پایین انفجار برخوردار باشند. اگر سوخت‌های این سلاح با حدود انفجاری خاص بتوانند در یک نقطه معین تمرکز یابند، در این زمان عملکرد آن‌ها از یک احتراق با نور و سرعت زیاد به یک انفجار تبدیل می‌شود که در این زمان میزان توده ابر مذکور باید کافی باشد. لازم بذکر است که در بیشتر این سیستم‌ها می‌توان توان و عملکرد انفجار را با یک انفجار القایی تقویت نمود.

۲–۷– عملکرد توده ابر وپخش آن

زمان تاخیر بین مرحله پخش و انتشار با مرحله شروع در این سلاح‌ها بسیار کوتاه است و در حدود ۱۵۰ میلی‌ثانیه می‌باشد. شرایط تحولات جوی محلی بخاطر کوتاه بودن زمان تاخیر، بر روی عملکرد این سلاح از تاثیر آنچنانی برخوردار نیست، اما چون شرایط تحولات جوی در این حوادث به هیچ وجه قابل پیش‌بینی نمی‌باشد، به همین دلیل به منظور افزایش ایمنی باید آن‌ها را مدنظر قرار داد. هر نوع شکل‌گیری توده ابر منجر به ایجاد یک منطقه خطرناک از بخار سوخت در جهت باد می‌شود، به همین دلیل تجزیه وتحلیل آن بسیار حایز اهمیت است.[٦]

۲–۸– پاره‌ای از ویژگی‌های ساختاری این سلاح

بطور کلی در این سلاح، سوخت آن در داخل یک سیلندر دایره‌ای شکل قرار می‌گیرد که این سیلندر از دو یا سه قطر متفاوت برخوردار می‌باشد. خرج انفجار این سلاح در حدود ۱ تا ۲ درصد از وزن سوختی می‌باشد که در داخل آن قرار می‌گیرد، که این خرج انفجار در محور مرکزی این سلاح قرار می‌گیرد. لازم

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

به ذکر است که نرخ جرم خرج انفجار این سلاح به سوخت آن در یک بعد نباید از ۱/٤۰ تجاوز کند.

بسیاری از مهمات این سلاح می‌باید بصورت یک میله حلقه‌ای شکل باشند که در نوک این میله یک عنصر پیزوالکتریک قرار می‌گیرد که این عنصر در هنگام برخورد با زمین به عنوان یک ماشه تقویت کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این سلاح مهمات مورد استفاده نباید به محور طولی سلاح نزدیک باشد، بلکه معمولا بهتر است که به کناره‌های آن نزدیک باشد. لازم به ذکر است که نیروهای آیرودینامیکی بر روی ذرات کوچک توده ابر قابل احتراق، تاثیر گذار می‌باشد، به گونه‌ای که این نیروها باعث از بین رفتن این ذرات بصورت تصاعدی و در نتیجه از بین رفتن توده ابر منفجره حاصل از آن می‌شوند و این امر باعث می‌شود که در نهایت با یک توده کلوچه‌ای شکل از این ذرات روبرو شویم.[٦]

۲-۹- تی.ان.تی معادل

در این قسمت به فرمولی اشاره می‌کنیم که به کمک آن می‌توانیم مقدار تی.ان.تی (برحسب جرم) را که به کمک آن می‌توانیم انرژی معادل یک سیستم FAE را آزاد بنماییم، بدست آوریم

$$W_{TNT} = (K \cdot W_F \cdot \Delta H_F) / \Delta H_{TNT} \qquad (۱-۲)$$

که در اینجا K ضریب انفجار، W_F وزن سوخت، ΔH_F حرارت ناشی از انفجار سوخت و ΔH_{TNT} حرارت ناشی از انفجار TNT می‌باشد.

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

جدول (۲-۳)- مقایسه ارزش انفجاری تی.ان.تی با سوخت‌های FAE.

نوع سوخت	حرارت ناشی از انفجار (مگا ژول بر کیلوگرم)
پروپان	۳۸
اتیلن(استیلن ۳)	۵
اکسیران	۲۱
بنزین به صورت معلق	۳۷
گرد آلومینیوم	۱۹
تی.ان.تی	٤/۲

۲-۱۰- شروع انفجار

بطور کلی در بیشتر سیستم‌های FAE که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند از یک فیتیله دو مرحله‌ای استفاده می‌شود، که در ابتدا بخش ابتدایی آن آتش می‌گیرد و بعد از آن در مرحله بعد براثر امواج شوک حاصل از آن توده ابر سوخت و هوا شکل می‌گیرد. البته در داخل سیستم‌های FAE از احتراق‌ها و انفجارهای شیمیایی استفاده می‌شود و از بارزترین مزایای این نوع احتراق‌ها این است که در آن‌ها با استفاده از یک رخداد ساده می‌توان سوخت موجود را بطور مناسب در محیط پخش کرد و سپس آن را محترق و یا منفجر نمود. شایان ذکر است که گرما و انرژی آزاد شده از این نوع احتراق و یا انفجار باید در حدی باشد که بتواند توده ابر تشکیل شده را محترق و یا منفجر نماید. لازم به ذکر است که در این سیستم‌ها از هایپرگولیک‌ها[۱] همراه با تری‌فلوئوریدبرم[۲] یا تری‌فلوئوریدکولین[۳] در کنار سوخت به عنوان

[۱]- Hypergolic
[۲]- Bromin trifluoride
[۳]- Choline trifluoride

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

مواد فعال کننده استفاده می‌شود. البته از پرفلوئوروهیدرازین[1] (این ماده از مشتقات خانواده هیدرازین است) نیز به عنوان یک فعال کننده دو عنصری با اثر متقابل استفاده می‌شود. از طرفی نیز بسیار تلاش شد که از مواد خود بخود محترق شونده مثل آلکیل‌های آلومینیوم و بور در این سیستم استفاده شود، اما این مواد نتوانستند بطور مناسب گسترش یابند.[٦]

۲–۱۱– پاره‌ای نکات ایمنی در باب FAE

الف– منطقه خطر در این سلاح بسیار گسترده است و به فاصله ۸۰۰ متر از محور طولی این سلاح می‌باشد، که این امر باید در زمان نگهداری آن‌ها مدنظر قرار گیرد.

ب– مهمات مورد استفاده در FAE، عمدتاً بصورت میله‌هایی بسیار نازک می‌باشند، بنابراین از قابلیت شکستگی و گسیختگی بالایی برخوردارند، به همین دلیل هرگونه ضربه وخسارت بر روی این سلاح باعث می‌شود که مهمات آن آسیب ببینند و در نتیجه هنگام انفجار غلظت آن‌ها در محیط به حداقل غلظت لازم برای انفجار نرسد و انفجار صورت نگیرد.

ج– پاره‌ای از موادی که در این نوع سلاح مورد استفاده قرار می‌گیرند بسیار سمی می‌باشند و بنابراین پرسنلی که با این سلاح در ارتباط هستند را باید از خطرات آن آگاه نمود.

د– شرایط تحولات جوی ممکن است باعث بوجود آمدن خطرات خاصی بشوند بگونه‌ای که نقطه جوش اکسیران[2] در حدود ۱۳/۵ درجه سانتیگراد می‌باشد، در حالیکه نقطه جوش متیل اکسیران[3] در حدود ٣٤ درجه سانتیگراد است. حال این امر بدین معنی است که محتویات مایع داخل ظرف می‌توانند

[1]- Perfluorohydrazin
[2]- Oxirane
[3]- Methyl Oxirane

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

بخار شوند و بدین صورت باعث افزایش فشار در داخل ظرف بشود که در نهایت این امر می‌تواند منجر به ایجاد شکاف یا ترک در ظرف مذکور شود که تکنسین‌ها باید به این امر توجه داشته باشند.[٦]

۲-۱۲- حداکثر فاصله مجاز از FAE

براساس جزئیاتی که از ساختار مواد قابل اشتعال و قابل احتراق می‌دانیم، می‌توانیم در حد امکان با استفاده از پاره‌ای توضیحات محافظه کارانه، حداکثر فاصله مجاز از تاثیرات حرارتی و یا فشار بالا را که از آن‌ها تولید می‌شود، محاسبه نمائیم؛ که برای بدست آوردن این فاصله، براساس پتانسیل اثرات ناشی از احتراق و یا انفجار می‌توانیم از فرمول زیر استفاده نماییم:

$$D=C\times(nE)1/3 \qquad (۲-۲)$$

که در فرمول فوق D مقدار فاصله مجاز از فشار در حدود 1psi می‌باشد که برحسب متر بیان می‌شود، C یک ضریب ثابت می‌باشد که به خسارت‌های ناشی از انفجار بستگی دارد که بطور مثال این عدد در فشار 1psi ، ۰/۱۵ می‌باشد، N یک ضریب نیروست از انفجار توده بخار که به نوعی از مقدار نیروی ترکیبات مکانیکی سرچشمه می‌گیرد و عمدتاً این ضریب را ۱۰ درصد و یا ۰/۱ درنظر می‌گیرند، E نمایانگر مقدار انرژی تولید شده از انفجار می‌باشد که برحسب ژول بیان می‌شود. لازم به ذکر است که مقدار انرژی آزاد شده از انفجار را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$E= Mass \times hc \qquad (۳-۲)$$

که در این فرمول E برابر است با حاصل‌ضرب جرم ماده مورد نظر بر حسب کیلوگرم در مقدار حرارت آزاد شده از آن ترکیب برحسب ژول برکیلوگرم. بنابراین در نهایت با ترکیب دو فرمول قبل می‌توانیم به فرمول زیر در باب حداکثر فاصله مجاز دست یابیم:

$$D =0/15 \times (0/1 \times mass \times hc) \times (1/3) \qquad (٤-۲)$$

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۲-۱۳- نمونه‌ای از سلاح‌های FAE

در این قسمت یک نمونه از این تسلیحات را مورد بررسی قرار می‌دهیم که با توجه به محرمانه بودن اطلاعات، تنها موردی که از آن تقریباً مطلب کاملی بدست آمده، بمب خوشه‌ای CBU-72 می‌باشد که در این قسمت به بررسی آن می‌پردازیم. این سلاح اولین بار در سال ۱۹۹۱ مورد استفاده قرار گرفت که در این سال در طول جنگ طو فان صحرا[۱] یگان‌های تفنگدار دریایی آمریکا حدود ۲۵٤ عدد از آن را در مقابله با کشور عراق بر علیه میدان‌های مین و نفرات مخفی شده در پناهگاه‌ها به کار بردند. این سلاح ۵۵۰ پوندی شامل سه نوع مهمات زیر سطحی FAE است. وزن این مهمات زیر سطحی تقریباً در حدود ۱۰۰ پوند است و حاوی ۷۵ پوند اکسیداتیلن و یک فیوز انفجاری است، که این فیوز در فاصله ۳۰ فوتی از نقطه هدف عمل می‌نماید. این سلاح یک توده گرد و غبار به قطر تقریباً ٦۰ فوت و ضخامت ۸ فوت را ایجاد می‌نماید، که این توده بوسیله مواد منفجره جاسازی شده در داخل سلاح محترق می‌شود و در نهایت منجر به ایجاد یک انفجار عظیم می‌گردد. در نهایت به این نکته اشاره می‌نماییم که طول این سلاح ۸۵/٦ اینچ و قطر آن ۱٤ اینچ می‌باشد.

۲-۱۴-پیشرفتی در باب سلاح‌های FAE

رافائل[۲] یک شرکت اسرائیلی می‌باشد، که عملکرد آن گسترش و به روز کردن سلاح‌های اسرائیل می‌باشد، حال این شرکت یک سیستم برای نفوذ به وسایل زرهی و میدان‌های مین تولید کرده است که کارپت[۳] نامیده می‌شود. این سیستم هم اکنون در ارتش اسرائیل مورد استفاده قرار می‌گیرد و از سال

۱- Desert Storm
۲- Rafael
۳- Carpet

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

۲۰۰۷ برای ارتش فرانسه تولید خواهد شد. این سیستم یک تحقیق بسیار مهم و منحصر به فرد در مـورد تکنولوژی FAE می‌باشد. این سیستم می‌تواند در عقب وسایل زرهی به طور یـدک مـورد اسـتفاده قـرار گیرد. برای کارکردن در مدهای اتوماتیک و نیمه اتوماتیک و دستی برنامه‌ریزی شده است.

۲-۱۴-۱- ویژگی‌های اصلی این سلاح

۱- این سلاح در پاک کردن میدان‌های مین از سرعت و کارایی بسیار مناسبی برخوردار است.

۲- این سلاح به آماده‌سازی پیشین احتیاجی ندارد.

۳- عمل کردن آن بسیار ساده و ایمن است.

٤- از ماکزیمم مقدار ایمنی برای خدمه برخوردار است.

٥- در هر زمین و محدوده‌ای می‌توان از آن استفاده کرد.

٦- در این سلاح مسیر عبور توسط تعدادی راکت‌های بالدار باز می‌شود.

۲-۱۴-۲- مشخصات لانچر این سلاح

وزن کلی آن (اگر کاملاً پر باشد): ۳/٥ تن.

ابعاد لانچر (شامل قاب لانچر): ۱/۳۲ متر × ۲ متر × ۳ متر.

ابعاد محفظه و غلاف موشک‌ها: ۲/٤ متر × ۱/۳۲ متر × ۰/۹۲ متر.

۲-۱۴-۳- مشخصات موشک‌های این سلاح

وزن: ٤٦ کیلوگرم

طول: ۱۳۹۰میلیمتر

قطر بیرونی: ۲٦٥ میلیمتر

فاصله باله‌ها: ۳٥۰ میلیمتر

نرخ آتش : ۱٦٥ متر- ٦٥ متر

روش‌های آتش : اتوماتیک، نیمه‌اتوماتیک، شلیک به صورت تکی.[٦]

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

شکل(۲-۲) نمایی از سلاح کارپت.

ELVISF۳۵@yahoo.com

www.ParsBook.org

مراجع :

۱- ثنایی، دکتر غلام حسین ،" سم‌شناسی صنعتی"، انتشارات دانشگاه تهران، مرداد۱۳۷۵ ، چاپ چهارم، جلد اول

۲- شیمی، علی‌اصغر، " تکنولوژی حریق" ، انتشارات دانشگاه ملی ایران ،۱۳٥٤

3- Grossel , S , G.Zalosh, R , “ Guideling for Safe Handling of Powders and Bulk Solids” , AICHE , November 3,2005

com, 4- Ebadat , V , “ Dust Explosion Hazard Assessment”,http://www.childworth. Session No.766

5- DK, Pritchard , “ literature review-explosion hazard associated with nanaopowders ”, Fire and Explosion , 2004/12

6- M.J ,Tang, Q.A, Baker , “A New Set of Blast Curves from Vapor Cloud Explosion”, Process Safety Progress , Winter 1999

ELVISF۳٥@yahoo.com