

مقدمه ای بر

تئیه سماند هسته ای

میشل آبی. اوجوان و
وینستون چرچیل

مترجم

فریدریخ ریاحی

M.I. Ojovan, میشل آی. اوجووان, W.E. Lee, ویلیام. ای. لی, ۲۰۰۵-

م. فریرز ریاحی, ۱۳۴۴.

مقدمه‌ای بر تثبیت پسماند هسته‌ای / [تالیف میشل آی. اوجووان, ویلیام. ای. لی]:

مترجم فریرز ریاحی

تهران: پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای, ۱۳۹۲.

۳۹۱ ص.: مصور, جدول, نمودار.

ISBN: ۹۷۸-۶۰۰-۷۴۱۴-۰۰-۲

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیبا

عنوان اصلی:

۱. کتابخانه ریالوزدا می ۳. پیش‌بینی‌های ایمنی

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

رده بندی کنگره: ۳۹۲ م. الف. ۸۷۱/۸۷۱ TD۸۷

رده بندی دیویی: ۱/۴۸۳۸

شماره کتابشناسی ملی: ۱۸۸۵۹

نام کتاب: مقدمه‌ای بر تثبیت پسماند هسته‌ای

مترجم: فریرز ریاحی

ویراستاران: علیرضا درودی, حمید سپهریان

ناظر فنی: فریا علی اکبری

ویرایش صفحه بندی: شادی معماری آذر

نمونه‌خوان: مهدیه‌السادات عامل ابراهیمی

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

چاپ: ۱۳۹۲

نوبت چاپ: اول

قیمت: ۱۶۰,۰۰۰ ریال

چاپ و صحافی: پیام رسان فردا, تلفن ۸۸۷۲۸۰۰۲

ناشر: پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۴۱۴-۰۰-۲

کلیه حقوق چاپ و انتشار این اثر متعلق به پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای می‌باشد.



پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

دیباچه

اکنون درک می‌کنیم که وقت آن رسیده کاری در مورد پسماند پرتوزا انجام دهیم. بسیاری از کشورهای دارای حجم‌های بزرگ پسماند هسته‌ای ناشی از برنامه‌های انرژی کشوری و نظامی، شروع به کسازي مکان‌های آلوده و طراحی و ساخت پسمان‌گورهای پیشرفته کرده‌اند. ایالات متحده آمریکا دارای واحد آزمایشی صنعتی منزوی‌سازی پسماند (WIPP) در کارلسبد است و در مرحله توسعه سیاست‌های انبار کردن کوهستان یوکا می‌باشد. مجلس قانون‌گذاری فرانسه در سال ۲۰۰۶ مقرر کرد که گزینه‌هایی برای مراقبت از پسماند پرتوزا معرفی، تعیین و توسعه داده شود. بریتانیا، از تابستان ۲۰۰۶، اداره‌ای از کسازي هسته‌ای را برای مدیریت بر پاکسازی و کمیته مدیریت پسماند پرتوزا را برای مشاوره دولت در مورد گزینه‌های مناسب، تأسیس کرد. بودجه فعلی بریتانیا برای پاکسازی ۵۰ میلیارد پوند است.

منبع انرژی جهانی باید از یک سهم موزون منابع، شامل منابع تجدیدپذیر مانند باد، خورشید و آب فراهم شود. یک فایده بزرگ انرژی تولید شده با شکافت هسته‌ای در اشتراک با منابع تجدیدپذیر این است که CO_2 تولید نمی‌کند. اگر می‌خواهیم سیاه (زمین) را از تباهی، بواسطه گرمایش جهانی ایجاد شده به وسیله CO_2 محافظت کنیم، نیروی هسته‌ای سهم بزرگی در تولید انرژی ما خواهد داشت. دو استدلالی که اغلب در مخالفت با نیروی هسته‌ای کار برده می‌شود این است که غیر اقتصادی است و اینکه معضل پسماند را مورد توجه قرار نداد. پس باید بود قیمت‌های نفت و گاز مورد اول را پاسخ می‌دهد و این کتاب شرح می‌دهد که چگونه مورد دوم را تأمین نماییم. این میراث گذشته، که با هر رویدادی سروکار خواهد داشت، نباید نسل‌های آینده را از دست‌ها و منافع شایان سامانه‌های نوین انرژی هسته‌ای، محروم نماید.

سوی ای. یون^۱

رییس انجمن انرژی هسته‌ای بریتانیا

^۱. Sue E. Ion

www.ketab.ir

پیشگفتار مؤلف

این کتاب، ترسیم تجربه مؤلفان در فرآوری و دفن پسماندها، آزمون حیطه انواع پسماند هسته‌ای از سطح هسته‌های پرتوزای طبیعی در محیط‌زیست تا دفن فرم‌های پسماند در پسمان‌گور عمیق و رفتار دراز مدت، است. این کتاب برای خوانندگانی با زمینه فنی لازم که می‌خواهند بیشتر درباره این موضوع تأملات امروزی ولی در عین حال موضوع حائز اهمیت بدانند، پیشنهاد شده است. کتاب، بر اصل ایستایی تمرکز دارد که مبنای پردازش و طرح شکل‌های پسماند، همچنین پسمان‌گورهایی است که در طول زمان تا آنها برای همیشه در آنجا استقرار یابند. کتاب در مورد مخاطراتی که هم با پسماند پست و هم با پسماند هسته‌ای توأم است، و روش‌های بازیافت یا دفن ایمن آنها توضیح می‌دهد. منابع پسماند هسته‌ای، انواع اصلی آن و خواص مشخصه آنها را توصیف می‌کند. روش‌های رایج مدیریت پسماند هسته‌ای و فرآوری‌های مسلم تثبیت نظیر شیشه‌ای کردن و تثبیت با سیمان را به اختصار بیان می‌کند. روش‌های بالقوه تثبیت پیشرفته‌تر و راهکارهایی برای پسماندهای مشکل، با استفاده از شیشه‌های نوین، سرامیک‌ها و مواد مرکب نیز مورد بحث قرار می‌گیرد. بعضی از گزینه‌های در دسترس برای دفن و دفن در پسمان‌گور عمیق نیز مطرح می‌شود. موضوع کلیدی که باید همه ما به آن توجه کنیم آن است که بعضی از این پسماندها برای چند هزار سال پرتوزا خواهند ماند.

کتاب شامل ۲۰ فصل است. این فصل‌ها چنان سازمان‌دهی می‌شوند که طرز هر نوع پسماند هسته‌ای، از تشکیل و تبدیل آن از طریق انواع روش‌های فرآوری و جداسازی تا این احتمالی آنها، به انضمام تحلیل اثر زیست محیطی هر نوع پسمان‌گور طراحی شده را بررسی کند. فصل‌های ۱ الی ۶ مفاهیم اساسی نظیر اهمیت دز تابش را معرفی کرده و اینکه مقدار بیش از اندازه هر ماده‌ای (نه فقط مواد پرتوزا) تهدیدی برای محیط‌زیست ایجاد می‌کند و همین‌طور شرح می‌دهد که چگونه به‌طور کمی خطر را برآورد کنیم. بر روی خطرناک‌ترین فلزات سنگین و هسته‌های پرتوزا که اغلب آنها ساخته دست بشر است تمرکز شده است. این رویکرد عمومی بر تغییر شکل خطر بالقوه با زمان تأکید کرده و بغرنج‌ترین هسته‌های پرتوزای دارای عمر طولانی را مشخص می‌کند. فصل‌های ۷ الی ۱۲ مبنای نظارتی موضوع پسماند هسته‌ای را توصیف می‌کند که منتهی به طرح‌های اساسی مدیریت پسماند می‌شود. در حالی که ممکن است بسیاری از پسماندهای هسته‌ای طی مدت معقول

غیرپرتوزا شوند، و در نتیجه از کنترل نظارتی آزاد گردند، این مورد برای پسماندهای خیلی پرتوزا و دارای عمر طولانی مطرح نیست. فصل‌های ۱۳ الی ۱۸ فنون هنری در فرآوری و تثبیت پسماند هسته‌ای را جزء به جزء شرح می‌دهد. اینجا بر روش‌های اصلی تثبیت تمرکز شده است: تثبیت با سیمان، تثبیت با قیر و شیشه‌ای کردن و نیز نظری اجمالی بر بعضی چالش‌های نوظهور و راه‌حل‌های بالقوه شده است. سرانجام، فصل‌های ۱۹ و ۲۰ به دفن پسماند هسته‌ای و ارزیابی کمی ایمنی آن اختصاص یافته است.

این کتاب به عنوان مروری مقدماتی برای دانشجویان فوق لیسانس و پژوهشگران این حوزه پیشنهاد شده است. ولی همچنین برای تحصیل در دوره لیسانس فیزیک، شیمی، جغرافی، زمین شناسی و علوم زیست محیطی یا رشته‌های مهندسی، که به سعادت سیاره (زمین) علاقه‌مندند، مفید خواهد بود.

میشل آی. اوجووان^۱

ویلیام ای. لی^۲

^۱. Michael I. Ojovan

^۲. William E. Lee

مقدمه مترجم

در سال‌های اخیر، نحوه مواجهه با پسماند، اعم از پسماند پرتوزا و پسماند غیرپرتوزا، موضوعی با اهمیت از جنبه زیست محیطی و سیاسی شده است. خطر گرمایش جهانی ناشی از تولید گازهای گلخانه‌ای، نیاز به منابع انرژی کم کربن، همگام با توسعه نسل بعدی سامانه‌های پیشرفته انرژی هسته‌ای، چرخه سوخت هسته‌ای، بسته موسوم به سامانه‌های نسل ۴، استفاده از فن‌آوری هسته‌ای نوین را اهمیتی فزاینده داده است. با افزایش تقاضای جهانی برای اورانیم، بازیافت سوخت، ضمن ایجاد انواع پسماند پرتوزا، موضوعی مهم‌تر از قبل خواهد شد. در این زمان فقدان متخصصینی در زمینه پسماند هسته‌ای نگرانی جدی خواهد بود و این کتاب مرجعی ارزشمند حاوی اطلاعاتی مهم را برای تثبیت پسماند پرتوزا ارائه می‌کند. کتاب حاضر به‌ویژه برای متخصصین صنایع هسته‌ای و مدیریت پسماند هسته‌ای، دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی فعال در این زمینه می‌تواند مفید و راهگشا واقع شود. این کتاب همچنین می‌تواند برای مخاطبین با علایقی در موضوعات زیست محیطی و یا برای هر فرد نیازمند به اطلاعات در زمینه پرتوزایی یا منابع پسماند خطرناک و خصوصیات و روش‌های آمایش، مفید باشد. ارائه منابع، کتاب را منبع ارجاعی مناسب، حاوی اطلاعات علمی جدید در زمینه تثبیت پسماند پرتوزا می‌سازد. امید است ترجمه کتاب حاضر، گامی در جهت شناخت فنون تثبیت پسماند پرتوزا و حفاظت از محیط‌زیست باشد.

در خاتمه لازم می‌دانم از همکارانم در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای به‌ویژه جناب آقای دکتر فریدون پیامی، دکتر مجتبی باقرزاده و مهندس ابراهیم باقرزاده که از راهنمایی‌های ارزشمندشان بهره‌مند بوده‌ام سپاس‌گزاری نمایم. خود را از نظرات و پیشنهادات اصلاحی شما بی‌نیاز نمی‌دانم. آدرس fariborzriahi@yahoo.com، منتظر پیام‌های شما هستم. شما خواننده گرامی است.

فریبرز ریاحی

هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

اسفند ۱۳۹۲

www.ketab.ir

فهرست

فصل اول

مقدمه‌ای بر تثبیت

- ۱-۱ مقدمه ۱
- ۱-۲ اثبات پسماند ۳
- ۳-۱ پسماند پرتوزا ۳
- ۴-۱ بازیافت ۵
- ۵-۱ به حداقل رساندن پسماند ۶
- ۶-۱ تثبیت ۷
- ۷-۱ بازه‌های زمانی ۸
- ۹ مراجع ۹

فصل دوم

واپاشی هسته‌ای

- ۱-۲ واپاشی هسته‌ای ۱۱
- ۲-۲ قانون واپاشی ۱۳
- ۳-۲ تعادل پرتوزا ۱۴
- ۴-۲ اکتیویته ۱۵
- ۵-۲ واپاشی آلفا ۱۶
- ۶-۲ واپاشی بتا ۱۸
- ۷-۲ واپاشی گاما ۱۸
- ۸-۲ شکافت خودبه‌خود ۱۹
- ۹-۲ مشخصه‌های هسته‌های پرتوزا ۲۰
- ۲۵ مراجع ۲۵

فصل سوم

آلاینده‌ها و خطرات

- ۱-۳ فراوانی عنصری ۲۷

- ۳۰..... ۲-۳ مهاجرت و توزیع مجدد
- ۳۲..... ۳-۳ خطر بالقوه
- ۳۴..... ۴-۳ خطر نسبی
- ۳۶..... ۵-۳ مفهوم خطر حقیقی
- ۳۷..... ۶-۳ فاکتورهای ساختاری که خطر را کاهش می‌دهند
- ۴۰..... مراجع

فصل چهارم

فلزات سنگین

- ۴۳..... ۱-۴ آلاینده‌های فلزی
- ۴۴..... ۲-۴ چرخه زیست زمین سیم
- ۴۵..... ۳-۴ فلزات سنگین
- ۴۷..... ۴-۴ فلزات سنگین در موجودات زنده
- ۴۸..... ۵-۴ سرب
- ۴۹..... ۶-۴ جیوه
- ۵۰..... ۷-۴ کادمیم
- ۵۰..... ۸-۴ آرسنیک
- ۵۲..... مراجع

فصل پنجم

هسته‌های پرتوزای طبیعی

- ۵۳..... ۱-۵ مواد پرتوزای طبیعی و مواد پرتوزای طبیعی افزایش یافته بواسطه فن آوری
- ۵۴..... ۲-۵ هسته‌های پرتوزای ازلی
- ۵۵..... ۳-۵ هسته‌های پرتوزای کیهانی
- ۵۷..... ۴-۵ هسته‌های پرتوزای طبیعی در سنگ‌های آذرین
- ۵۸..... ۵-۵ هسته‌های پرتوزای طبیعی در سنگ‌های رسوبی و خاک‌ها
- ۵۹..... ۶-۵ هسته‌های پرتوزای طبیعی در آب دریا
- ۶۰..... ۷-۵ نشر رادون
- ۶۲..... ۸-۵ هسته‌های پرتوزای طبیعی در بدن انسان
- ۶۳..... مراجع

فصل ششم

تابش زمینه

۶۵	۱-۶ تابش طبیعی است
۶۶	۲-۶ واحدهای دز
۶۷	۳-۶ پیامدهای زیستی تابش
۷۱	۴-۶ تابش زمینه
۷۴	مراجع

فصل هفتم

مقررات پسماند هسته‌ای

۷۵	۱-۷ سازمان‌های مسئول مقررات
۷۶	۲-۷ فلسفه حفاظت
۷۷	۳-۷ مقررات مواد پرتوزا و پسماندها
۷۸	۴-۷ معیارهای معافیت و سطوح
۸۰	۵-۷ ترخیص مواد از کنترل نظارتی
۸۲	۶-۷ استانداردهای دوگانه
۸۳	۷-۷ حدود دز
۸۳	۸-۷ کنترل مخاطرات پرتوی
۸۶	مراجع

فصل هشتم

اصول مدیریت پسماند هسته‌ای

۸۷	۱-۸ اجماع بین‌المللی
۸۸	۲-۸ هدف مدیریت پسماند پرتوزا
۸۸	۳-۸ اصول اساسی
۸۸	۴-۸ نکاتی درباره اصول بنیادی
۹۶	۵-۸ اصول اخلاقی
۹۷	۶-۸ معاهدة الحاقی
۹۸	مراجع

فصل نهم

منابع و مشخصات پسماندهای هسته‌ای

۹۹.....	۱-۹ مشخصات کلیدی پسماند
۹۹.....	۲-۹ طرح‌های طبقه‌بندی
۱۰۲.....	۳-۹ مثال‌هایی از طبقه‌بندی پسماند
۱۰۳.....	۴-۹ منابع پسماند
۱۰۸.....	۵-۹ پسماند آبایی و عملیاتی چرخه سوخت هسته‌ای
۱۱۰.....	۶-۹ پسماند انتهایی چرخه سوخت هسته‌ای باز
۱۱۳.....	۷-۹ پسماند آبایی چرخه سوخت هسته‌ای بسته
۱۱۶.....	۸-۹ پسماند از کار آوری‌هایی چرخه سوخت هسته‌ای
۱۱۷.....	۹-۹ پسماندهای غیر چرخه سوخت هسته‌ای
۱۲۳.....	۱۰-۹ پسماندهای حادثه‌ای
۱۲۶.....	مراجع

فصل دهم

هسته‌های پرتوزای پسماند عمر - کوتاه

۱۲۹.....	۱-۱۰ مقدمه
۱۳۰.....	۲-۱۰ تریتم
۱۳۳.....	۳-۱۰ کبالت-۶۰
۱۳۵.....	۴-۱۰ استرانسیم-۹۰
۱۳۸.....	۵-۱۰ سزیم-۱۳۷
۱۴۱.....	مراجع

فصل یازدهم

هسته‌های پرتوزای پسماند عمر - طولانی

۱۴۳.....	۱-۱۱ مقدمه
۱۴۳.....	۲-۱۱ کربن-۱۴
۱۴۶.....	۳-۱۱ تکنسیم-۹۹
۱۴۸.....	۴-۱۱ ید-۱۲۹
۱۴۹.....	۵-۱۱ پلوتونیم

۱۵۱	۱۱-۶ نپتونیم-۲۳۷
۱۵۲	۱۱-۷ حالت بحرانی هسته‌ای
۱۵۴	مراجع

فصل دوازدهم

مدیریت و تعیین مشخصات پسماندهای پرتوزا

۱۵۵	۱۲-۱ بردهای مدیریت
۱۵۶	۱۲-۲ پیش‌بین
۱۵۹	۱۲-۳ عمل
۱۶۲	۱۲-۴ تعیین مشخصات
۱۶۶	مراجع

فصل سیزدهم

پیش‌آمایش پسماندهای پرتوزا

۱۶۷	۱۳-۱ تعریف پیش‌آمایش
۱۶۸	۱۳-۲ گردآوری و جداسازی
۱۶۹	۱۳-۳ اصلاح
۱۷۰	۱۳-۴ کاهش اندازه
۱۷۲	۱۳-۵ بسته‌بندی
۱۷۳	۱۳-۶ رفع آلودگی
۱۸۱	مراجع

فصل چهاردهم

آمایش پسماندهای پرتوزا

۱۸۳	۱۴-۱ اهداف آمایش
۱۸۴	۱۴-۲ آمایش پسماندهای آبی
۱۸۵	۱۴-۲-۱ تبخیر
۱۸۷	۱۴-۲-۲ رسوبدهی شیمیایی
۱۹۰	۱۴-۲-۳ جذب و تبادل یون
۱۹۶	۱۴-۲-۴ روش‌های غشایی
۱۹۷	۱۴-۲-۵ روش‌های ترکیبی

۱۹۹.....	۱۴-۳ آمایش پسماندهای مایع آلی.....
۲۰۱.....	۱۴-۴ آمایش پسماندهای جامد.....
۲۰۱.....	۱۴-۴-۱ فشرده سازی و فوق فشرده سازی.....
۲۰۶.....	۱۴-۴-۲ سوزاندن.....
۲۱۳.....	۱۴-۴-۳ تجزیه شیمیایی و ترموشیمیایی.....
۲۱۴.....	۱۴-۵ آتش سبالات خروجی گازی و منتقل شونده با هوا.....
۲۱۷.....	۱۴-۶ جزایری و تبدیل عنصری.....
۲۱۹.....	مراجع.....

فصل پانزدهم

تثبیت پسماندهای پرتوزا در سیمان

۲۲۳.....	۱۵-۱ تثبیت پسماند.....
۲۲۴.....	۱۵-۲ رفتار فروشویی فرم پسماند.....
۲۲۶.....	۱۵-۳ فنون تثبیت.....
۲۲۶.....	۱۵-۴ تثبیت در سیمانهای هیدرولیک.....
۲۲۷.....	۱۵-۵ سیمانهای هیدرولیک.....
۲۳۰.....	۱۵-۶ آبپوشی سیمان.....
۲۳۱.....	۱۵-۷ ترکیب سیمان آبپوشی شده.....
۲۳۴.....	۱۵-۸ تثبیت پسماندهای پرتوزا با سیمان.....
۲۳۵.....	۱۵-۹ سامانه های سیمانی مرکب و اصلاح شده.....
۲۴۰.....	۱۵-۱۰ فن آوری تثبیت با سیمان.....
۲۴۴.....	۱۵-۱۱ معیارهای پذیرش.....
۲۴۷.....	مراجع.....

فصل شانزدهم

تثبیت پسماندهای پرتوزا در قیر

۲۵۱.....	۱۶-۱ تثبیت با قیر.....
۲۵۲.....	۱۶-۲ ترکیب و خواص قیر.....
۲۵۳.....	۱۶-۳ مواد قیری برای تثبیت پسماند.....
۲۵۵.....	۱۶-۴ فن آوری تثبیت با قیر.....
۲۶۰.....	۱۶-۵ معیارهای پذیرش.....

۲۶۱	۶-۱۶ قیر در مقایسه با سیمان
۲۶۲	مراجع

فصل هفدهم

تثبیت پسماندهای پرتوزا در شیشه

۲۶۵	۱۷- شیشه‌ای کردن
۲۶۷	۱۷-۱ کانسم‌های تثبیت
۲۶۹	۱۷-۲ با آوری هسته‌های پرتوزا
۲۷۰	۱۷-۴ شیشه‌های ماند هسته‌ای
۲۷۱	۱۷-۵ ترکیب شیشه پسماند هسته‌ای
۲۷۴	۱۷-۶ شیشه‌های پسماند هسته‌ای
۲۷۷	۱۷-۷ نقش اکسید بور
۲۷۸	۱۷-۸ نقش واسط‌ها و تعدیل‌کننده‌ها
۲۸۰	۱۷-۹ عناصر مشکل
۲۸۲	۱۷-۱۰ شیشه‌های فسفاتی
۲۸۵	۱۷-۱۱ مواد مرکب شیشه
۲۸۷	۱۷-۱۲ فرایندهای شیشه‌ای کردن
۲۹۶	۱۷-۱۳ ذوب‌کننده‌های بوته سرد
۳۰۰	۱۷-۱۴ فن‌آوری شیشه‌ای کردن
۳۰۲	۱۷-۱۵ تکلیس
۳۰۴	۱۷-۱۶ فراریت هسته پرتوزا
۳۰۶	۱۷-۱۷ معیارهای پذیرش
۳۰۸	مراجع

فصل هجدهم

میزبان‌های نوین تثبیت‌کننده و فنون آن

۳۱۱	۱۸-۱ رویکردهای نوین
۳۱۳	۱۸-۲ فرم‌های پسماند بلوری
۳۱۷	۱۸-۳ فرم‌های پسماند بلوری چند فازی: سینروک
۳۲۰	۱۸-۴ فرم‌های پسماند چند فازی: مواد مرکب

۳۲۱.....	۵-۱۸ رویکردهای فنی جدید
۳۲۶.....	۶-۱۸ تثبیت در بافت فلزی
۳۲۹.....	مراجع

فصل نوزدهم

دفن پس ماند هسته‌ای

۳۳۳.....	۱-۱۹ مدیریت دفن/انبارش
۳۳۴.....	۱-۱۹ دوره‌های نگهداری
۳۳۴.....	۳-۱۹ مقررم موانع جاذبه
۳۳۶.....	۴-۱۹ گزینه‌های دفن/انبارش
۳۴۱.....	۵-۱۹ نقش سامانه‌های انتقال
۳۴۴.....	۶-۱۹ اهمیت زمین شناسی
۳۴۵.....	۷-۱۹ انتقال هسته‌های پرتوزا
۳۴۸.....	۸-۱۹ تجربه دفن/انبارش
۳۴۹.....	۹-۱۹ معیارهای پذیرش
۳۵۱.....	مراجع

فصل بیستم

ارزیابی عملکرد

۳۵۳.....	۱-۲۰ ایمنی و ارزیابی عملکرد
۳۵۴.....	۲-۲۰ الزامات ایمنی
۳۵۵.....	۳-۲۰ مفاد ارزیابی جامع ایمنی
۳۵۷.....	۴-۲۰ کارایی سیمان
۳۵۹.....	۵-۲۰ کارایی قیر
۳۵۹.....	۶-۲۰ کارایی شیشه
۳۶۴.....	۷-۲۰ اثرات تابش
۳۶۷.....	۸-۲۰ آزمایشگاه‌های تحقیقاتی
۳۷۰.....	۹-۲۰ نتیجه گیری
۳۷۱.....	مراجع