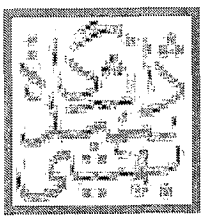
٨٧/١١/١٠ ٢٢٢٩
٨٧/١٠/٢٥

پیام ایران

١٠٨٤٢٠

۸۷/۱/۱۰ ۲۲۲۹
۸۷/۱۰/۲۵



دانشگاه شهيد بهشتي

دانشكده علوم وفنون هسته اي

پايان نامه
جهت دريافت درجه كارشناسي ارشد در رشته مهندسي هسته اي

عنوان
طراحي حفاظ انبار سوختهاي مصرفي راكتور تحقيقاتي تهران

استاد راهنما
جناب آقاي دكتر حسين خلفي

استاد مشاور
جناب آقاي دكتر عبدالحميد مينوچهر

ع - ۱۳۸۷/۱۰/

نگارش
پرستو پيروزرام

تابستان ۱۳۸۶

۱۰۸۴۲۰

دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ .....
شماره .....
پیوست.....

تهران ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳ اوین
تلفن: ۲۹۹۰۱

بسمه تعالی

" صورتجلسه دفاع از پایان نامه دانشجویان دوره کارشناسی ارشد "

بازگشت به مجوز دفاع شماره۱۳۹۶۷/۲۰۰/د مورخ ۱۳۸۶/۹/۲۰جلسه هیات داوران ارزیابی پایان نامه خانم **پرستو پیروزرام** به شماره شناسنامه:۲۷۳ صادره از: **تهران** متولد: **۱۳۶۱** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد پیوسته / ناپیوسته **رشته مهندسی هسته ای (راکتور)**
با عنوان:

طراحی انبار سوخت های مصرفی راکتور تحقیقاتی تهران با کد MCNP

به راهنمایی:

۱- آقای دکتر حسین خلفی

طبق دعوت قبلی در تاریخ ۸۶/۹/۲۰ تشکیل گردید و بر اساس رای هیات داوری و با عنایت به ماده ۲۰ آیین نامه کارشناسی ارشد مورخ ۱۰/۲۵/ ۷۵ پایان نامه مزبور با نمره ۱۸/۷۵ و درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

۱- استاد راهنما: آقای دکترحسین خلفی
۲-استاد مشاور: آقای دکتر عبدالحمید مینوچهر
۳- داورداخلی: آقای دکترامیرسعید شیرانی
۴- داور خارجی: آقای دکتر مصطفی صدیقی

تقدیم به

شیرین ،

علیرضا

و

فرهاد

که همواره مشوق راهم بودند.

تقدير و تشكر

لازم است قبل از هر چيز از استاد محترم جناب آقاي دكتر حسين خلفي كه با بزرگواري تمام ، راهنمايي اين پروژه را پذيرفته و پيوسته با ارائه راهنماييهاي ارزشمندشان مرا در انجام پروژه ياري نمودند، صميمانه تقدير و سپاسگذاري نمايم.

همچنين مراتب تشكر خود را از خانم مهندس قاسمي ، دكتر مينوچهر، دكتر شيراني، دكتر شهرياري ، دكتر آقاميري و دكتر ذوالفقاري ، اساتيد محترم دانشكده هسته اي دانشگاه شهيد بهشتي، كه در طول تحصيل همواره همراه من بودند، اعلام مي دارم .

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	
مقدمه	
فصل اول: انبار سوختهای مصرفی	
۱) سوختهای هسته ای	۱
۲) راکتورهای قدرت وتحقیقاتی	۲
۳) انواع پسمان هسته ای	۴
۴) بازیافت ودورهشت	۷
۵) انبارداری سوختهای مصرفی	۸
۱. انبارداری مرطوب	۸
۲. انبارداری خشک	۱۵
۶)مدیریت وانبارداری سوختهای مصرفی هسته ای در راکتورهای قدرت	۲۱
۷) مدیریت وانبارداری سوختهای مصرفی هسته ای در راکتورهای تحقیقاتی	۲۵
۱. سیاستهای انبارداری راکتورهای تحقیقاتی کشورهای مختلف	۲۶
فصل دوم: مقررات و آیین نامه طراحی انبار سوختهای مصرفی	
۱. حالت زیر بحرانی	۳۲
۲. ساختمان وطراحی	۳۳
۳. حفاظت در برابر تابش	۳۵
۴. پوشش ایمنی مواد رادیو اکتیو	۳۶
۵. انتقال حرارت	۳۷
۶. مواد	۳۷
۷. جابجایی	۳۸
فصل سوم : حفاظ سازی انبار سوختهای مصرفی	
۱) اصول حفاظ سازی	۴۰
۱. شکافت هسته ای وپرتوهای ناشی از آن	۴۰
۲. محاسبه پرتو زایی	۴۴

۲)حفاظ سازی در برابر پرتوهای گاما ۴۵
۱. محاسبه حفاظ توسط روشهای تئوری ۴۶
- تضعیف پرتوهای گاما ۴۶
- محاسبات تضعیف پرتو ۵۳
۱ - محاسبه شار عبوری ۵۳
۲ - محاسبه دز تولید شده ۵۷
۳)انواع حفاظ ۵۸

فصل چهارم: نحوه انجام محاسبات برای طراحی انبار سوخت های مصرفی بااستفاده از کد MCNP

۱) تعریف چشمه ۶۰
۲) محاسبات بحرانیت ۶۴
۳) محاسبات حفاظ سازی ۶۵
۱. محاسبات پرتوزایی ۶۵
۲. محاسبه دز روی سطوح مورد نظر ۷۰

فصل پنجم : ارائه نتایج وجمع بندی

۱)انبارداری مرطوب ۷۲
۱. محاسبات ونتایج بحرانیت برای انبارداری مرطوب ۷۲
- طراحی اولیه استخر ۷۲
- طراحی رک حاوی سوختهای مصرفی ۷۷
- طرح نهایی استخر ۸۳
- محاسبات بحرانیت برای کل ظرفیت استخر موجود ۸۴
۲. نتایج و محاسبات حفاظ سازی ۸۸
- محاسبه ضخامت حفاظ بتنی در وجه سمت راست ۸۸
- محاسبه ضخامت حفاظ آب لازم در وجه سمت راست ۹۳
- محاسبه ضخامت لازم آب در وجه بالای استخر ۹۷
۲) انبارداری خشک ۹۹
۳)محفظه های حمل ونقل بسته های سوخت ۱۰۳

۱. دسته بندی مواد پرتوزا وبسته های حمل ونقل ۱۰۳

۲. شاخص ترابری ۱۰۴

۳. محاسبات محفظه حمل بسته های سوخت مصرفی ۱۰۵

- محاسبات پرتوزایی مجتمع های سوخت ۱۰۶

- محاسبه محفظه حمل ونقل بسته های سوخت مصرفی با استفاده از کد مونت کارلو ۱۰۹

۴)جمع بندی ۱۱۲

مراجع ۱۱۴

چکیده

نام و نام خانوادگی : پرستو پیروزرام

عنوان پایان نامه : طراحی حفاظ انبار سوخت های مصرفی راکتور تهران

استاد راهنما : دکتر حسین خلفی

درجه تحصیلی : کارشناسی ارشد

تاریخ فراغت از تحصیل : ۸۶/۹/۲۰

رشته : مهندسی هسته ای

گرایش : راکتور

دانشگاه : شهید بهشتی

دانشکده :هسته ای

کلید واژه ها : مونت کارلو – بحرانیت – حفاظ - راکتور

چکیده :

یکی از مسائل مهم ومشترک در تمامی راکتورهای هسته ای، انواع پسمان هسته ای تولید شده وانبارداری آنها می باشد. در تحقیق حاضر ضمن بررسی روشهای مختلف انبارداری ومقررات نگهداری سوختهای مصرفی راکتورها،انبار سوختهای مصرفی راکتور تحقیقاتی تهران مطابق بااستانداردهای بین المللی جهت نگهداری سوختهای مصرفی طراحی شده است. جهت محاسبات بحرانیت و طراحی حفاظ از کد مونت کارلو(MCNP)استفاده گردیده است.

مقدمه:

توسعه بهره برداری از انرژی هسته ای به عنوان یکی از منابع تولید انرژی پاک در عصر حاضر اهمیت فراوان یافته و تولید برق با این روش که در سال های دهه ۱۹۶۰ میلادی کمتر از دو درصد کل تولید جهانی آن زمان یعنی ۵۰۰ هزار مگاوات بود. در سالهای ۱۹۹۰ به ۱۷ درصد از کل تولیدحدود یک میلیون و هشتصد هزار مگاوات رسیده است و این در حالی است که تولید الکتریسیته تنها یکی از موارد مهم استفاده از تکنولوژی هسته ای است.

مجتمع های[۱] سوخت راکتورها که در قلب[۲] واقعند باید پس از مدتی با سوخت تازه تعویض شوند . از ۱۹۶۰تا اوائل دهه ۲۰۰۰ حدود ۲۰۰ هزار تن سوخت مصرف شده از راکتور های قدرت خارج گردیده است. این سوخت های مصرف شده پس از تخلیه از راکتور حاوی مقدار متنابهی پاره های شکافت هستند که بر اثر واپاشی، پرتوهای یون ساز، اشعه گاما و مقدار زیادی حرارت آزاد می کنند که نیاز به پوشش حفاظتی و سرد سازی دارند. بدین منظور سوخت را به مدت ۳-۵ سال در استخر راکتور بطور موقت ،بمنظور کاهش پرتوزایی بتا وگاما وحرارت سوخت انبار می کنند. از این رو حمل ونقل سوخت ها آسانتر شده و خطر پرتو گیری پرسنل نیز کاهش می یابد. . یک چهارم تا یک سوم از این انباشت سوخت مصرف شده در عملیات باز یافت بکار می رود . ما بقی در سایت های نیروگاهها برای خنک شدن نگهداری می شوند که بخشی از آن بنحوی بایستی در تاسیسات نگهداری

---

[۱] assembly

[۲] core

ویژه ،برای مدت طولانی انباشت و یا در زیر زمین مدفون شود. بمنظور انبارداری طولانی مدت (حدود ۳۰ سال) ، سوختهای مصرف شده هسته ای را به سایتهای انبارداری AFR(OS) یا AFR(RS) توسط محفظه های مخصوصی انتقال می دهندو برای بازیافت به سایتهای بازیافت منتقل می کنند. در حال حاضر ۲ نوع انبارداری خشک ومرطوب وجود دارد ،که هر کدام نسبت به دیگری از مزایایی بر خوردار است. نوشتار حاضر به تحقیق در مورد طراحی انباری برای نگهداری طولانی مدت سوختهای مصرفی پرداخته است.

با وجود اینکه هدف اصلی از اجرای این تحقیق طراخی انبار نگهداری بسته های سوخت مصرف شده راکتور تحقیقاتی تهران است ، لکن سعی شده است در انجام محاسبات ،پیوسته جامعیت وجنبه عمومی بودن روشها در نظر گرفته شده وحفظ گردد. بدین ترتیب با ایجاد تغییرات اندکی در روش های موجود ، می توان مسائل دیگری از حفاظ سازی در برابر پرتو ها را حل نمود.

در فصل اول خلاصه ای از نحوه انبارداری سوختهای مصرفی و انواع آن ارائه گردیده است.

فصل دوم شامل مجموعه ای از مقررات حاکم بر طراحی انبار سوختهای مصرفی می باشد.

فصل سوم شامل چکیده ای از اصول حاکم بر حفاظ سازی در برابر پرتوها می باشد.

فصلهای چهارم و پنجم نیز بترتیب ، نحوه انجام محاسبات بحرانیت و حفاظ سازی و نتایج محاسبات را توضیح می دهند. همچنین در فصل پنجم بطور خلاصه توضیحاتی در مورد محفظه های حمل ونقل بسته های سوخت مصرف شده نیز ارائه شده است.

فصل اول

انبار سوختهای مصرفی [۲،۱]

بسته های سوخت راکتور باید پس از مدتی با سوخت تازه تعویض شوند . این سوخت های مصرف شده پس از تخلیه از راکتور نیاز به پوشش حفاظتی و سرد سازی دارند، این فصل نحوه نگهداری سوختهای مصرفی پس از خروج از راکتور را بطور خلاصه توضیح می دهد.

۱) سوختهای هسته ای

هندسه ، نوع و غلاف سوختهای هسته ای در راکتورهای مختلف بسته به نوع آنها فرق می کند.

انواع هندسه سوخت وغلاف عبارتند از: میله های سوخت ، ورقه های سوخت ، قرص سوخت.

انواع سوخت را می توان به سوختهای اکسیدی {UO2, (U,Pu)O2} ، سوختهای کاربیدی {UC, (U,Pu)C} ، سوختهای نیتریدی {UN, (U,Pu)N} ، آلیاژهای فلزی {U-Pu-Zr-Mo} و سایر آلیاژها

{UAlx, U3Si2, U/Zr hydride, UCO} تقسیم نمود.

موادی که به عنوان غلاف بکار می روند عبارتند از: آلیاژهای زیرکنیوم برای راکتورهای LWRs ، فولاد ضد زنگ ، آلیاژ آلومینیومی برای راکتورهای تحقیقاتی وآلیاژهای نسوز برای راکتورها با دمای بالا ، W, Ta, Nb, Mo, V و ... .

۲)راکتورهای قدرت[1] و تحقیقاتی[2]

از نظر صنعتی راکتورها را به دو دسته کلی راکتورهای قدرت و تحقیقاتی تقسیم می کنند.

- راکتورهای قدرت , راکتورهایی هستند که کاربرد صنعتی دارند و برای تولید برق از آنها استفاده می شود. سوخت وغلاف آنها بسته به نوع راکتور فرق می کند.

- راکتورهای تحقیقاتی ، راکتورهایی هستند که بیشتر جنبه تحقیقاتی و آزمایشگاهی دارند.در حال حاضر سوخت بیشتر راکتورهای تحقیقاتی ،اورانیم با غنای کم (U-235 LEU) و غلاف Alمی باشد. جدول ۱-۱ ویژگی و مشخصات انواع سوختهای استفاده شده در راکتورهای تحقیقاتی را نشان می دهد.

1- power reactor

2- research reactor

جدول ۱-۱-انواع مجتمع های سوخت راکتورهای تحقیقاتی

Assembly Type	*U-235 Burnup, %*	*U-235 Enrichment, %*	*U-235 Mass, g*
*MTR ** *(19 fuel plates)*	5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80	93 45 19.75	100 200 300 400 200 300 400 100 200 300 400 500
*TRIGA *** *(single rod)*	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60	70 (8.5wt% U) 20 (20wt% U) 20 (12wt% U) 20 (8.5wt% U)	133 98 54 38
TRIGA *(25 rod cluster)*	10, 20, 30, 40, 50, 60	93.1 (10wt% U) 19.7 (45wt% U)	41.4 53.6
*DIDO**** *(4 fuel tubes)*	10, 20, 30, 40, 50, 60	93 80 60 20	150 150 150 200

* سوختهایMTR: این سوختها معمولاً از آلیاژ UAl_x یا U_3Si_2 با غلاف Al هستند

**TRIGA fuel is used in TRIGA (Training, Research, Isotopes, General Atomics) reactors.
TRIGA fuel consists of a uranium zirconium hydride matrix

***DIDO: death inducer-obliterator

۳)انواع پسمان هسته ای

به ازاءهر ۸ مگاوات ساعت انرژی الکتریکی تولید شده در نیروگاه هسته ای، ۳۰ گرم زباله رادیواکتیو بوجود می آید که براساس مقدار و نوع ماده رادیواکتیو به ۳ گروه تقسیم می شوند:

الف ـ سطح پایین: لباس های حفاظتی، لوازم، تجهیزات و فیلترهایی که حاوی مواد رادیواکتیو با عمر کوتاه هستند. این گروه نیازی به پوشش حفاظتی ندارند معمولاً فشرده شده یا آتش زده می شوند و در چاله های کم عمق دفن شده و انبار می شوند.

ب ـ سطح متوسط: رز ین ها، پسمانده های شیمیایی، پوشش میله سوخت و مواد نیروگاههای برق هسته ای جزء زباله های سطح متوسط طبقه بندی می شوند. پسمانهای متوسط عموماً عمر کوتاهی دارند.با این وجود نیاز به پوشش محافظ دارند. این زباله ها را می توان درون بتن قرار داده و در مخزن زباله ها گذاشت.

ج ـ سطح بالا: همان سوخت مصرف شده راکتورهاست که نیاز به پوشش حفاظتی و سرد سازی دارند. سوختهای مصرفی هسته ای(SNF)[1]، سوختهایی هستند که در راکتور تابش دیده و شامل اتمهای شکافت پذیر و پاره های شکافت هستند.

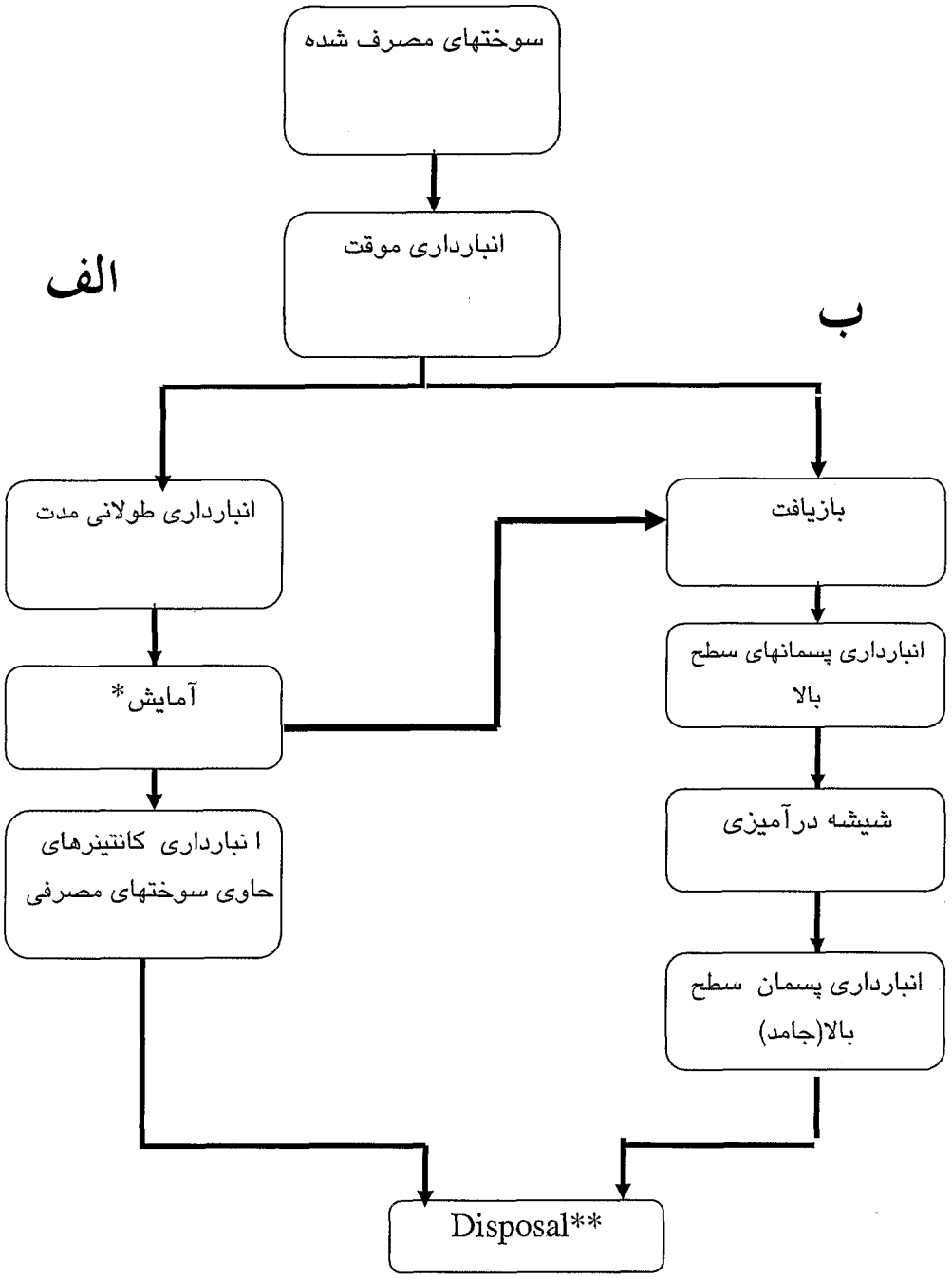
مراحل مدیریت این ضایعات عبارتند از: انبارداری موقت[2] ـ بازیافت[3] – انبارداری طولانی مدت و در نهایت دورهشت[4].

1- Spent Nuclear Fuel
2- interim storage
3- reprocessing
4- disposal

این سوختها پس از خروج از راکتور بسته به نوع سوخت ونوع راکتور برای مدت محدود ۶ ماه تا ۵ سال بطور موقت در مکانهایی انبار شده وسپس بازیافت یا برای مدت طولانی (۱۰ تا ۳۰ سال) انبار می شوند.

هر کشوری بسته به نوع سوخت ،نوع راکتور، امکانات و نوع سیاستی که اتخاذ میکند، پس از انبارداری موقت سوختهای مصرفی ، یکی از این دو روش را برای پسمانداری سوختهای هسته ای مصرفی انتخاب می کند. نمودار ۱-۱ چرخه سوخت ونحوه پسمانداری سوختهای مصرفی را نشان می دهد.

بطور کلی در مورد نگهداری سوختهای مصرفی هسته ای باید به چهار مورد زیر توجه شود: انواع تابش ، حرارت تولید شده، حالت بحرانی و پایداری شیمیایی (مقاومت در برابر خوردگی).



*آمایش: تشکیل فاز بتای اورانیوم با گرم سازی مناسب و متعاقبا سرد سازی سریع آن، جهت پایداری ابعادی اورانیوم بویژه هنگامی که تحت تابش قرار داشته باشد.

** دورهشت: جا دادن پسمان در یک پسمان گور یا در یک محل معین بدون قصد بازیابی

نمودار ۱-۱- مسیرهای پسمانداری سوخت مصرف شده: (الف) آمایش و disposal مستقیم (ب) بازیافت و انجماد پسمانهای سطح بالا

۴) بازیافت و دورهشت

۳٪ سوخت مصرف شده در هر راکتور را ضایعات بسیار خطرناک رادیواکتیو و بدون استفاده تشکیل می دهند. بخش قابل ملاحظه محتویات سوخت مصرف شده دارای اورانیوم مصرف نشده،و دیگر مواد رادیواکتیو هستند. این مواد را می توان با روشهای شیمیایی از یکدیگر جدا کرد و اگر شرایط اقتصادی و قوانین حقوقی اجازه دهد، می توان سوخت مصرفی را برای تهیه سوخت هسته ای جدید بازیافت کرد. کارخانه هایی در فرانسه و انگلستان وجود دارند که بازیافت سوخت نیروگاههای کشورهای اروپایی و ژاپن را انجام می دهند. بازیافت در ایالات متحده ممنوع است. رایج ترین شیوه بازیافت purex[1] نام دارد که مخفف عبارت جداسازی اورانیوم و پلوتونیوم است.در این روش ابتدا میله های سوخت را از مجتمع سوخت جدا کرده و به عنوان سوخت جدید به مراحل تهیه سوخت می فرستند. پس از جداسازی ، پسمان سطح بالا را حرارت داده و پس از عملیاتی به پودر تبدیل می کنند. پس از این فرآیند، پودر را با شیشه مخلوط می کنند تا ضایعات در محفظه ای حبس شوند. این فرآیند شیشه سازی نام دارد. شیشه مایع را درون محفظه هایی از جنس فولاد ضد زنگ قرار می دهند وسپس در منطقه ای پایدار (از نظر جغرافیایی) انبار می کنند.

پس از هزار سال شدت تابش های رادیواکتیو ضایعات هسته ای به مقدار طبیعی کاهش پیدا می کند. این نقطه انتهای چرخه سوخت هسته ای است.(نمودار ۱-۲)

1 - Plutonium-Uranium Recovery by Extraction