

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



کتورهای ماژولار کوچک در صنعت هسته‌ای

تألیف:

سعید زارع گنجارودی

نیما خوش‌ذات



Email : simaye.danesh@yahoo.com

Telegram : [telegram.me/simayedaneshpub](https://t.me/simayedaneshpub)

سرشناسه	زارع گنجاوردی، سعید، ۱۳۷۲-
عنوان و نام پدیدآور	راکتورهای مازولار کوچک در صنعت هسته‌ای / تالیف سعید زارع گنجاوردی، نیما خوش‌ذات.
مشخصات نشر	تهران: سیمای دانش، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	۴۳۸ ص.
شابک	978-600-120-470-8
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	راکتورهای هسته‌ای
موضوع	Nuclear reactors
موضوع	عنصرهای سوخت هسته‌ای
موضوع	Nuclear fuel elements
موضوع	سوخت‌های اتمی
موضوع	Nuclear fuels
موضوع	راکتورهای هسته‌ای -- پیش‌بینی‌های ایمنی
موضوع	Nuclear reactors -- Safety measures
شناسه افزوده	خوش‌ذات، نیما، ۱۳۶۵-
رده بندی کنگر	TK۹
رده بندی دیویی	۶۲۱/۴۸۳
شماره کتابشناسی ملی	۰۶۸۰۵

راکتورهای مازولار کوچک در صنعت هسته‌ای

تألیف:	سعید زارع گنجاوردی - نیما خوش‌ذات
ناشر:	انتشارات سیمای دانش
نوبت چاپ:	اول/ ۱۳۹۸
تیراژ:	۵۰ نسخه
لیتوگرافی:	باختر
چاپخانه:	فرشیوه
محرافی:	روشنک
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۱۲۰-۴۷۰-۸
قیمت:	۷۰۰۰۰۰ ریال

کلیه حقوق این اثر برای انتشارات سیمای دانش محفوظ است.

انتشارات سیمای دانش: خیابان انقلاب - ابتدای خیابان ۱۲ فروردین
 پلاک ۳۱۸ - تلفن: ۶۶۴۶۴۷۷۹
 فروشگاه سیمای دانش: ۶۶۴۶۰۵۴۵
 انتشارات آذر: ۶۶۴۶۵۸۳۰
 کتابفروشی عصر دانش: ۶۶۴۹۳۷۰۱
 کتابفروشی پرهام: ۶۶۴۶۸۲۳۵

پیشگفتار

نخستین سپاس همواره سزاوار پروردگار است که اندیشیدن را از برترین ارزش‌ها دانست و آن را از ارکان نیل به سعادت جاودان برای بندگان خود برشمرد. اکنون، یگانه خالق هستی را شاکریم که با یاری او گام در راهی سبز نهاده و در راه انتشار کتابی در زمینه علوم مهندسی هسته‌ای قدم برداشته‌ایم.

با توجه به نیاز روزافزون بشر به انرژی، یافتن انرژی پاک، ارزان و در دسترس همواره یکی از اهداف همه کشورها محسوب می‌گردد. از این رو، یکی از راه‌های نیل به این اهداف، استفاده از راکتورهای ماژولار کوچک هسته‌ای می‌باشد. هدف اصلی از طراحی این راکتورها، تولید انرژی هسته‌ای به صرفه و با امنیت می‌باشد. این راکتورها که بر طبق تعاریف آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، دارای قدرت الکتریک کمتر از ۱۰۰ مگاوات هستند، با توجه به اندازه و توان محدود خود از سوخت با غنا کمتر از بیست درصد استفاده کرده و به صورت پیش ساخته و ماژولار به سایت مورد نظر برده شده و نصب می‌گردند.

اثری که تقدیم خوانندگان گرامی می‌شود، کتاب راکتورهای ماژولار کوچک در صنعت هسته‌ای می‌باشد که در چهار فصل اصلی تدوین و تدوین شده است. فصل اول این کتاب، درباره مسائل کلی درباره انرژی هسته‌ای، راکتورهای هسته‌ای، بسبب بندی راکتورهای هسته‌ای، راکتورهای ماژولار کوچک اعم از تعریف، مشخصات، مزایا و چالش‌ها، کشور های پیشرو و برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته در این زمینه در جهان و در نهایت انواع و لیست اسامی راکتورهای ماژولار کوچک در دنیا پرداخته شده است. همچنین در انتهای این فصل سعی بر آن شد تا با مطالعه کامل تمامی راکتورهای ماژولار کوچک، بتوان چشم‌انداز استفاده از این نوع راکتورها را در کشور بنا کرد و بهترین و بهینه‌ترین نوع از این راکتورها را با توجه به ظرفیت‌های موجود انتخاب نمود.

در پایان فصل اول، پس از تقسیم‌بندی انواع راکتورهای ماژولار کوچک بر اساس نوع خنک‌کننده، در فصول بعدی سعی بر آن شد، تا تمامی این راکتورها به صورت کامل بررسی شوند و مشخصات آنها اعم از زمان‌بندی ساخت، مشخصات ایمنی راکتور، پارامترهای طراحی قلب و سوخت و برنامه موجود جهت گرفتن مجوز ساخت و بهره‌برداری بیان گردد. از این رو، در فصل دوم به انواع راکتورهای ماژولار کوچک با خنک‌کننده آب، در فصل سوم به انواع راکتورهای ماژولار کوچک با خنک‌کننده گاز و در فصل چهارم به انواع راکتورهای ماژولار کوچک با خنک‌کننده فلز مایع پرداخته شده است.

مسلماً این نوشتار نیز همانند هر اثر دیگری عاری از عیب و نقص نخواهد بود. پیشاپیش بابت هرگونه نارسایی احتمالی در کتاب از خوانندگان محترم بوزش می‌خواهیم و مزید امتنان خواهد بود که کلیه خوانندگان گرامی بر ما منت نهاده، معایب و اشتباهات احتمالی موجود در کتاب و یا پیشنهادات خود را از طریق آدرس smr.nuclearenergy@gmail.com، با مولفین در میان گذارند.

در پایان، امید آن داریم، تا این کتاب نیز بتواند در حد و اندازه‌های خود مورد استفاده و مقبولیت عزیزان در علوم مربوطه قرار گیرد.

سعید زارع گنجارودی نیما خوش‌ذات

زمستان ۱۳۹۸

www.ketab.ir

فهرست مطالب

۱.....	فصل اول: راکتورهای ماژولار کوچک
۲.....	۱-۱ انرژی هسته‌ای
۶.....	۲-۱ راکتورهای هسته‌ای
۷.....	۳-۱ راکتورهای ماژولار کوچک
۷.....	۴-۱ تاریخچه راکتورهای ماژولار کوچک
۹.....	۵-۱ هدف، فلسفه طراحی و استفاده از راکتورهای ماژولار کوچک
۱۰.....	۵-۱-۱ زمان ساخت
۱۰.....	۵-۱-۲ نیروگاه‌های ماژولار
۱۰.....	۵-۱-۳ اقتصاد پروگرام
۱۱.....	۵-۱-۴ ساده‌سازی و ایمنی راکتور
۱۲.....	۵-۱-۵ عملیات تعمیر، نگهداری و هزینه‌های سوخت
۱۳.....	۵-۱-۶ عدم نیاز به سوخت‌گذاری
۱۴.....	۶-۱ اهداف و چالش‌های موجود برای توسعه راکتورهای ماژولار کوچک
۱۴.....	۷-۱ برخی از موارد استفاده از راکتورهای ماژولار کوچک
۱۶.....	۸-۱ مراحل مختلف راکتورهای ماژولار کوچک
۱۸.....	۹-۱ رویکرد و پتانسیل کشورها در طراحی و استفاده از راکتورهای ماژولار کوچک
۲۰.....	۱۰-۱ انواع مختلف و اسامی راکتورهای ماژولار کوچک
۲۹.....	۱۱-۱ انرژی هسته‌ای در ایران
۳۰.....	۱۲-۱ راکتورهای ماژولار کوچک در ایران
۳۱.....	فصل دوم: راکتورهای ماژولار کوچک با خنک‌کننده آب
۳۲.....	۱-۲ مقدمه
۳۵.....	۲-۲ راکتور CAREM-25
۳۸.....	۲-۲-۱ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۴۵.....	۲-۲-۲ قلب و سوخت راکتور
۵۰.....	۳-۲ راکتور ACP-100
۵۴.....	۳-۲-۱ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور

- ۵۵..... ۲-۳-۲ قلب و سوخت راکتور
- ۵۶..... ۴-۲ راکتور SMART
- ۵۹..... ۱-۴-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
- ۶۰..... ۲-۴-۲ قلب و سوخت راکتور
- ۶۱..... ۵-۲ راکتور FLEXBLUE
- ۶۳..... ۱-۵-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
- ۶۴..... ۲-۵-۲ قلب و سوخت راکتور
- ۶۴..... ۶-۲ راکتور ABV- 6M
- ۶۸..... ۱-۶-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
- ۶۹..... ۲-۶-۲ قلب و سوخت راکتور
- ۷۰..... ۷-۲ راکتور K1، 1-200
- ۷۳..... ۱-۷-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
- ۷۴..... ۸-۲ راکتور VER 300
- ۷۶..... ۱-۸-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
- ۷۸..... ۲-۸-۲ قلب و سوخت راکتور
- ۷۸..... ۹-۲ راکتور UNITHERM
- ۸۲..... ۱-۹-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
- ۸۳..... ۲-۹-۲ قلب و سوخت راکتور
- ۸۵..... ۱۰-۲ راکتور ELENA
- ۸۶..... ۱-۱۰-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
- ۸۸..... ۲-۱۰-۲ قلب و سوخت راکتور
- ۹۰..... ۱۱-۲ راکتور MPOWER
- ۹۳..... ۱-۱۱-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
- ۹۴..... ۲-۱۱-۲ قلب و سوخت راکتور
- ۹۵..... ۱۲-۲ راکتور NUSCALE
- ۹۷..... ۱-۱۲-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
- ۹۸..... ۲-۱۲-۲ قلب و سوخت راکتور
- ۹۹..... ۱۳-۲ راکتور IRIS
- ۱۰۱..... ۱-۱۳-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور

۱۰۲.....	۲-۱۳-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۰۳.....	۱۴-۲ راکتور DMS
۱۰۵.....	۱-۱۴-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۰۷.....	۲-۱۴-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۰۸.....	۱۵-۲ راکتور SHELF
۱۱۰.....	۱۶-۲ راکتور SMR WESTINGHOUSE
۱۱۲.....	۱-۱۶-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۱۳.....	۲-۱۶-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۱۴.....	۱۷-۲ راکتور SMR-۱60
۱۱۶.....	۱-۱۷-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۱۷.....	۲-۱۷-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۱۸.....	۱۸-۲ راکتور K-T-S
۱۲۰.....	۱-۱۸-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۲۲.....	۲-۱۸-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۲۲.....	۱۹-۲ راکتور VBER-300
۱۲۵.....	۱-۱۹-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۲۶.....	۲-۱۹-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۲۶.....	۲۰-۲ راکتور VK-300
۱۲۹.....	۱-۲۰-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۲۹.....	۲۱-۲ راکتور RUTA-70
۱۳۱.....	۱-۲۱-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۳۲.....	۲۲-۲ راکتور IMR
۱۳۵.....	۱-۲۲-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۳۷.....	۲-۲۲-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۳۷.....	۲۳-۲ راکتور AHWR 300
۱۴۰.....	۱-۲۳-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۴۲.....	۲-۲۳-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۴۲.....	۲۴-۲ راکتور SAKHA-92
۱۴۳.....	۱-۲۴-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور

۱۴۷.....	EGP- 6 راکتور ۲۵-۲
۱۴۷.....	CNP- 300 راکتور ۲۶-۲
۱۴۹.....	۱-۲۶-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۵۳.....	INDIAN 220 PHWR راکتور ۲۷-۲
۱۵۳.....	۱-۲۷-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۵۹.....	۲-۲۷-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۶۰.....	MRX راکتور ۲۸-۲
۱۶۲.....	۱-۲۸-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۶۵.....	NHR- 200 راکتور ۲۹-۲
۱۶۶.....	۱-۲۹-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۶۶.....	۲-۲۹-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۶۷.....	VKR- 70 راکتور ۳۰-۲
۱۶۷.....	NP- 300 راکتور ۳۱-۲
۱۶۸.....	RADIX راکتور ۳۲-۲
۱۶۹.....	TPS راکتور ۳۳-۲
۱۷۰.....	VKT- 12 راکتور ۳۴-۲
۱۷۰.....	KLT- 20 راکتور ۳۵-۲
۱۷۰.....	۱-۳۵-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۷۷.....	۲-۳۵-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۷۹.....	VBER- 150 راکتور ۳۶-۲
۱۸۳.....	۱-۳۶-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۸۶.....	۲-۳۶-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۸۸.....	VKR- MT راکتور ۳۷-۲
۱۸۸.....	۱-۳۷-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۹۱.....	۲-۳۷-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۹۵.....	PSRD راکتور ۳۸-۲
۱۹۵.....	۱-۳۸-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۱۹۷.....	۲-۳۸-۲ قلب و سوخت راکتور
۱۹۸.....	PFPWR- 50 راکتور ۳۹-۲

۱۹۹.....	۱-۳۹-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۲۰۰.....	۲-۳۹-۲ قلب و سوخت راکتور
۲۰۲.....	۴۰-۲ راکتور AFPR-100
۲۰۴.....	۱-۴۰-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۲۰۴.....	۲-۴۰-۲ قلب و سوخت راکتور
۲۰۵.....	۴۱-۲ راکتور PACKAGE REACTOR
۲۰۷.....	۱-۴۱-۲ ویژگی‌های خاص راکتور
۲۰۹.....	۴۲-۲ راکتور MASLWR
۲۱۱.....	۱-۴۲-۲ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۲۱۴.....	۲-۴۲-۲ قلب و سوخت راکتور
۲۱۵.....	فصل سوم راکتورهای ماژولار کوچک با خنک‌کننده گاز
۲۱۶.....	۱-۳ مقدمه
۲۱۷.....	۲-۳ راکتور LEGRO
۲۲۰.....	۱-۲-۳ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۲۲۱.....	۲-۲-۳ قلب و سوخت راکتور
۲۲۲.....	۳-۳ راکتور ANTARES
۲۲۴.....	۱-۳-۳ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۲۲۵.....	۴-۳ راکتور EM-2
۲۲۶.....	۱-۴-۳ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۲۲۸.....	۵-۳ راکتور GT-MHR
۲۳۱.....	۱-۵-۳ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۲۳۲.....	۲-۵-۳ قلب و سوخت راکتور
۲۳۳.....	۶-۳ راکتور GT-HTR
۲۳۵.....	۱-۶-۳ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۲۳۶.....	۲-۶-۳ قلب و سوخت راکتور
۲۳۷.....	۷-۳ راکتور HTR-PM
۲۴۰.....	۱-۷-۳ ویژگی‌های خاص و ایمنی راکتور
۲۴۱.....	۳-۷-۲ قلب و سوخت راکتور
۲۴۲.....	۸-۳ راکتور PBMR