پوهنتون پولی‌تخنیک کابل
مجله علم و تکنالوژی
جلد ٥٤ – شماره ٢
سنبله – سال ١٤٠٥ – هـ.ش.
تاریخ دریافت اثر: ١٤٠٥/٣٠/٢١
تاریخ قبـولی اثر: ١٤٠٥/٠٥/١٧
KPU-JST
P-ISSN: 2305 - 896X

د پرمختللو انشقاقي ریکتورونو د ساختماني ډیزاینونو پرتلیزه ارزونه

نامزد پوهنیار نورالله فیض الباری[1*]، پوهاند احسان الله ثاقب[2]، پوهاند محمد داود احمدزی[3]

[1*] د کابل پولي تخنیک پوهنتون د الکترومیخانیک پوهنځي د فزیک څانګې استاد ایمیل ادرس faizulbari٢٠١٩@gmail.com

٢ـ د ننګرهارپوهنتون د ښوونې او روزنې پوهنځي فزیک څانګې استاد ایمیل ادرس ihsanullahsaqib٣٠٤٣@gmail.com

٣ـ د کابل پلي تخنیک پوهنتون د الکترومیخانیک پوهنځي د فزیک څانګې استاد ایمیل ادرس d.ahmadzai@kpu.edu.af

لنډیز

د دې څېړنې اصلي موخه د دغو پرمختللو ریکتورونو د ساختماني ډیزاینونو، په ځانګړي ډول د اتموسفیر په فشار کې د نریو دیوالونو کارول، د وړانګو په وړاندې د موادو د مقاومت او د غیر فعالو خوندیتوب سیستمونو د اعتبار او موثریت هر اړخیزه مقایسوي ارزونه ده

دغه څېړنه د پرتلیز- مروري میتود له مخې ترسره شوه چې پکې ټول معلومات له ثانوي سرچینو او د (International Atomic Energy Agency) راپورونو څخه په سیستماتیک ډول راټول شول. موندنې ښیي چې ماډلر ساختمان او په فابریکه کې د پرزو جوړول د (٨-٣-١) قاعدې له مخې لګښتونه او د جوړولو وخت په بې ساري ډول راکموي. د (AHTR) ریکتور (٤٥٪) لوړ حرارتي موثریت لري او غیر فعال سیستمونه یې د طبیعي قواوو لکه جاذبې او طبیعي جریان په واسطه تر (٧٢) ساعتونو پورې پرته له انساني مداخلې خوندیتوب یقیني کوي. همدارنګه، موندنو ثابته کړه چې مارتینسیتیک ستیلونه لکه (HT-٩) او (EP-٤٥٠) د نیوټروني پرسوب په وړاندې لوړ مقاومت لري چې د ریکتور عمر تر (٦٠) کلونو پورې غځوي.

د څېړنې پایلې دا په ډاګه کوي چې د ریکتور د فشار لرونکي لوښي (RPV) بشپړتیا د فشار لرونکي حرارتي شاک پر مهال د حرارتي پروسې (Annealing) په واسطه رغول کېدی شي ترڅو د ساختمان د نړېدو مخه ونیول شي. که څه هم پرمختللي ریکتورونه په پیل کې لوړې پانګونې ته اړتیا لري، مګر د دوی لوړ موثریت او ساده ساختمان په اوږدمهاله کې د برېښنا وروستی لګښت (LCOE) راکموي. په پای کې ویلی شو چې د ساختماني ډیزاینونو ساده کول، د وړانګو په وړاندې د نویو مقاومو موادو کارول او د غیر فعالو سیستمونو ادغام هستوي انرژي د چاپیریال ساتنې او د انرژۍ د ډاډمن تامین لپاره تر ټولو غوره او سیالي کوونکي حل لاره ګرځوي.

کلیدي ټکي: ماډلر ساختمان، نیوټروني پرسوب*، حرارتي شاک، اقتصادي موثریت

١. د ماډلر ساختمان دمؤثریت او وخت د سپما یو بنسټیز اصل دی.

سریزه

په وروستیو لسیزو کې د انرژۍ د اړتیاوو د ډېرېدو او د کاربن اخراج د کمولو په موخه، دریم پلسنسل (Gen III+) او څلورم نسل (Gen-IV) پرمختللي انشقاقي ریکتورونه لکه کوچني ماډلر ریکتورونه (SMRs) او غیر اوبیز سیستمونه لکه پرمختللی د لوړې تودوخې ریکتور یا(Advanced High Temperature Reactor) اود سودیم په واسطه یخیدونکی چټک ریکتور د یوې غوره حل لارې په توګه رامنځته شوي چې د دودیزو ډیزاینونو په پرتله لوړ موثریت او ساده ساختماني ډیزاینونه لري [٦] .د دغو ریکتورونو اهمیت په دې کې دی چې دوی د موروثي او غیر فعالو خوندیتوب سیستمونو په کارولو سره د پېښو پر مهال د انساني مداخلې اړتیا کموي او د ماډلر ډیزاینونو په واسطه د جوړولو لګښتونه او وخت راټیټوي [٤] ;[٦] .دغه راز، د دوی اوږد عملیاتي ژوند چې تر (٦٠) کلونو زیات اټکل شوی، د نړۍ د انرژۍ د پایښت او ثبات لپاره خورا حیاتي ګڼل کېږي[٦] .

اوسنۍ څېړنې په عمده توګه د غیر فعالو سیستمونو پر اعتبار او د لوړ ډوز لرونکو وړانګوپه وړاندې د ساختماني موادو لکه ضد د زنګ فولاد (Austenitic Steels) او فیریټیک-مارټینسیټیک الیاژونو(Ferritic-Martensitic Alloys) پر مقاومت تمرکز کوي ترڅو په داخل کې د پړسوب او نرمښت ستونزې حل کړي[١١] ,[٦] . په ځانګړي ډول، د (EP-٤٥٠) او (HT-٩) په څېر موادو په اړه مقایسوي څېړنې د نویو ډیزاینونو لپاره بنسټیزه برخه جوړوي [٢] . سره له دې، لا هم د لوړې تودوخې او شدید نیوټرونې بمبارۍ لاندې د موادو د تخریب (Degradation) او په نویو غیر فعالو ډیزاینونو کې د اوږدمهاله اعتبار په اړه جدي معلوماتي خلا شتون لري [٦] . له همدې امله، د دې مقالې اصلي موخه د دغو پرمختللو ریکتورونو د ساختماني ډیزاینونو، د موادو د انتخاب او د خوندیتوب سیستمونو د موثریت هر اړخیزه مقایسوي ارزونه ده ترڅو غوره انتخابونه په ګوته کړي.[٦]

د مقالې جوړښت په داسې ډول ترتیب شوی چې لومړی د ریکتورونو مختلف ډولونه او ډیزاین اصول[٣] ، بیا د ساختماني موادو میخانیکي ځانګړتیاوې او پر هغوی د وړانګو اغیزې [٦] ، او په دریمه برخه کې به د ماډلر جوړښت اقتصادي او تخنیکي شاخصونه وڅېړل شي [٦] . په پایله کې ویلی شو چې د ساختماني ډیزاینونو اصلاح او د غیر فعالو سیستمونو ادغام نه یوازې امنیت زیاتوي، بلکې د ریکتور جوړښت ساده او اقتصادي کوي [٤] . د نوو مقاومو موادو کارول او د ډیزاینونو تخنیکي اصلاح به په راتلونکي کې د هستوي انرژۍ د عامه منلو او نړیوالې پراختیا لپاره بنسټیز شرط وي [٩] ;[٦] . په دغه مقدماتی مروری مقاله کې زه غواړم څرګنده کړم چی آیا د ساختامني ماډلریت او د وړانګو پر وړاندې د مقاومو موادو) لکه(EP-٤٥٠) ادغام کولی شي د څلورم نسل ریکتورونو د لوړ لګښت او اوږدمهاله خوندیتوب دوه ګونې ننګونې حل کړي.

د څېړنې موخې

د دې څېړنې اصلي موخې د پرمختللو انشقاقي ریکتورونو د ساختماني ډیزاینونو او ډیزایني اصولو مقایسوي تحلیل د غیر فعالو او موروثي خوندیتوب سیستمونو د اعتبار او موثریت ارزونه او د لوړې تودوخې او وړانګو په وړاندې د ساختماني موادو د میخانیکي ځانګړتیاوو تحلیل دی. همدارنګه، د ماډلر جوړښتونو د اقتصادي اغیزو او د پروژو د بشپړېدو په موده کې د نوښتونو رول وڅېړل شي ترڅو د انرژۍ د پایښت لپاره غوره ساختماني حل لارې په نښه شي.

د څېړنې ارزښت

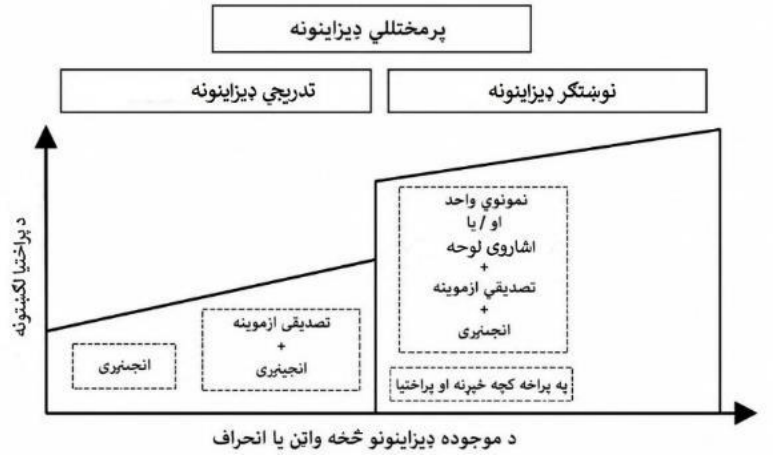
د دې څېړنې ارزښت د پرمختللو انشقاقي ریکتورونو په مرسته د انرژۍ د پایښت او امنیت په تامین کې دی. دا سیسټمونه د غیر فعالو خوندیتوب سیسټمونو په کارولو سره د انساني تېروتنو اغیز کموي او ډاډمنتیا زیاتوي. د ماډلر ساختماني ډیزاینونو تحلیل د لګښتونو او د جوړولو د مودې په راکمولو کې مرسته کوي. همدارنګه، د نویو ساختماني موادو ارزونه د ریکتور د ګټور عمر تر(٦٠)کلونو پورې د غځولو او د کاربن پاکې انرژۍ د تولید لپاره حیاتي ده.

تیرو آثارو ته کتنه

د اتومي انرژۍ نړیوال اژانس په خپله څېړنه کې ښیي چې په پرمختللو ډیزاینونو لکه **AP۱۰۰۰**او **APR۱٤۰۰**کې د کاروونکو اړتیاوې او تخنیکي معیارونه د لا ډېر معیاري کولو او خوندیتوب لپاره په پام کې نیول شوي دي[۳] . پوپلاوسکي، زبوډکو، او **ایف. ایې. ګارنر** موندلې چې مارټینسیټیک سټیلونه د پړسوب په وړاندې د مقاومت له امله د هستوي بټیو د ساختماني برخو لپاره د استینیټیک سټیلونو په پرتله غوره انتخاب دی[۲] . د **MIT** معتبرې څېړنې چې د جاکوپو بونجورنو، مایکل کوراډیني، **جان پارسنز**، او **ډیویډ پیټي** لخوا ترسره شوې، ټینګار کوي چې د هستوي انرژۍ راتلونکی په ماډلر ساختمان **او** غیر فعال خوندیتوب سیسټمونو پورې تړلی دی ترڅو لګښتونه کم او امنیت زیات شي [٦]. څېړونکو لکه ایس. جی. وانګ، ایکس. هوانګ، **او** بي. پي. بروملي **د** SmAHTR ریکتور په تحلیل کې ثابته کړې چې د فلوراید مایع مالګې کارول اجازه ورکوي ریکتور په لوړه تودوخه او ټیټ فشار کې کار وکړي، چې دا د ساختماني ډیزاین د ساده کولو لپاره یو مهم نوښت دی[۷] .V. K. Varma او Holcomb موندلې چې څرنګه چې دا ریکتور د اتموسفیر په فشار کې کار کوي، نو د ریکتور لوښی او د ودانۍ دیوالونه د دودیزو ریکتورونو په پرتله ډېر نري او ساده کیدی شي، ځکه چې هلته د داخلې چاودنې یا لوړ فشار خطر نشته.[۵] . زما د مقالې خلا داد ده چې یوازې ماډلریت یا یوازې نوي مواد کافي نه دي؛ بلکې د څلورم نسل ریکتورونو اقتصادي او امنیتي بریا د دغو دوو فکتورونو په انجینري ادغام کې ده.

د پرمختللو انشقاقي ریکتورونو ارتقا او ماډلر ساختماني ډیزاینونه

په وروستیو لسیزو کې د هستوي صنعت پام د دریم پلس نسل (Gen III+) او څلورم نسل (Gen-IV) ریکتورونو ته اوښتی دی، چې موخه یې د خوندیتوب زیاتول او د لګښتونو راکمول دي .[۳]څېړنې ښیي چې پرمختللي ډیزاینونه په دوو برخو ویشل شوي: تدریجي (Evolutionary) ډیزاینونه چې د پخوانیو ریکتورونو اصلاح شوې بڼه ده، او نوښتګر (Innovative)ډیزاینونه چې په بشپړ ډول نوي تخنیکونه کاروي .[٤] دغه ډلبندۍ په لاندې انځور کې لیدل کیږي.



۱ انځور. د پرمختللو ډيزاينونو لپاره هڅې او پراختيايي لګښتونه د موجوده ډيزاينونو څخه د واټن يا انحراف په پرتله. [۳]

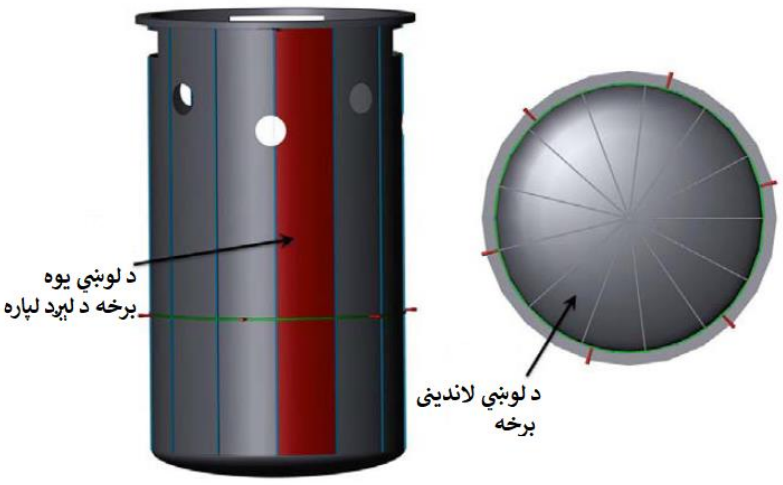
يو له خورا مهم ساختماني نوښتونو څخه د کوچني ماډلر ريکتورونو (SMRs) او ماډلر ساختماني تګلارو کارول دي .[٦] ددې تګلارو ګټې په لاندې جدول کې ښه په وضاحت سره ښودل شوي دي.

۱ جدول. د مهمو ګډو او خو برخو پورې تړلو ټکنالوژيو او د هغوی د ګټو لنډيز [٦].

ګټې	ټکنالوژي
د ريکتور د ډيزاين پورې اړه لري، دا سون مواد کولای شي د سختو او جدي پېښو پايلې کمې کړي او همدارنګه د خوندیتوب اړوند تجهيزاتو اړتيا کمه کړي او د عملياتو او ساتنې (O&M) لګښتونه راتيټ کړي.	د ناوړه پېښو (حادثو) په وړاندې مقاوم اټومي سون مواد
د سختو او پيچلو برخو د جوړولو لپاره ګټور دی. د نمونې جوړونه (پروټوټايپ) چټک او ارزانه کوي. د توليد په بهير کې ضايعات کموي.	د موادو د طبقې په طبقې زياتولو سره توليد
اتومات/له مخکې جوړاو فعال شوی فولادي پلټ ترکيبات: قالب له منځه وړي او د فولادي ميل مقدار کموي؛ د نصب وخت ٪۵۰ کموي؛ د کانکريټو او فولادو مقدار ٪۲۵ کموي. ډېر لوړ-عملکرد لرونکی کانکريټ: د فولادي پلټ ترکيباتو په څېر ورته اغېز لري. لوړ مقاومت لرونکی تقويتي فولاد: د فولادي ميل مقدار تر (٤٠٪) پورې کموي.	پرمختللی کانکريټ
په فابريکو او کښتۍ جوړولو ځايونو کې ماډيولي جوړونه: د پانګې %(۲۰-۱۰) کموالی او د جوړونې لنډ وخت د بربښنا د بدلون سيستم (Power Conversion System) منظم او اصلاح شوی ترتيب	پرمختللي ساختماني تخنيکونه
معياري کول او خو واحده ځای پرځای کول: د لګښت په کمولو کې مهم رول لري، ځکه چې د ساختماني ټيمونو لپاره د چټک زده‌کړې زمينه برابروي او د تکراري جوړونې اقتصاد ممکن کوي. سيسميک يا د زلزلې ضد جلاکول :(Seismic Isolation) د فابريکې معياري کول زياتوي؛ شاوخوا (۵٪) د	پرمختللي د ځای ټاکلو انتخابونه

	پانګې کمښت. (Embedment) مدفونول/په ځمکه کې خښول : د ډیزاین بنسټیزو ګواښونو پر وړانديې ساتنه کوي. د محافظتي ودانۍ اندازه او لګښت کموي او د زلزلې بار راکموي. د سمندر غاړې ځای ټاکنه(Offshore siting) : د کښتۍ جوړولو په فابریکو کې د جوړونې امکان برابروي او د بشپړ اټومي بټۍ مؤثره انتقال او سپارل ممکن کوي.
د برېښنا د بدلون پرمختللیسیستم	هوا یا هیلیم بریټن(Brayton) : د لوړ موثریت له امله د شپې د جوړونې لګښت کموي. تر بحرانی پورته یا (سوپرکریټیکل) CO_2 بریټن(SCO2 Brayton) : د لوړ موثریت له امله د شپې د جوړونې لګښت کموي.
پوښونه او نانو جوړښت لرونکي سطحي(Nano-textured Surfaces)	په کنډنسرونو(Condensers) کې هایدروفوبیک(Hydrophobic) : %(۲-۱) موثریت. په بخار تولیدوونکو کې هایدروفیلیک: % (۱-۰) موثریت. د CRUD ضد :(Repellent) شاوخوا(۳-۱) میلیونه ډالر/ریکتور-کال سپما کوي.
د وسایلو او کنټرول ټکنالوژۍ	د عملیاتي موثریت ښه والی او د نبات د مهمو پارامترونو (د هستهیيي ځواک، حرارتي حاشیه، د سونګ سوځېدنه او د وړانګو زیان) په اړه د نامعلومو حالتونو کمول.
روبوټکس (رباتیک)	په سختو چاپېریالونو کې (لکه وړانګې، تنګ ځایونه، لوړه تودوخه او لوړ رطوبت) کې د انسانانو پر ځای د عملیاتو، ساتنې او اضطراري غبرګون لپاره د روباټونو کارول.
د انرژۍ ذخیره کول	د ریاکتورونو پر توان باندې د اغېز پرته، د برېښنا شبکې ته د برېښنا د تولید تنظیم او بدلون ممکن کوي.

دا ماډلر ډیزاینونه اجازه ورکوي چې د ریکتور برخې په فابریکو کې په معیاري ډول جوړې او په ساحه کې نصب شي، چې دا چاره نه یوازې د جوړولو وخت لنډوي، بلکې د کیفیت کنټرول هم اسانه کوي .[۵] ;[٦] د بېلګې په توګه، د (AHTR) په څېر ډیزاینونه د اتموسفیر په فشار کې کار کوي، چې له امله یې ساختماني دیوالونه نري کیدی شي او د رنو اوبو ریکتورونو (LWRs) په پرتله یې ساختماني پیچلتیا کمه ده.[۵] په لاندې شکل کې د ترانسپورټ د اسانتیا په موخه د ریکټور د لوښي قطعه بندي ښودل شوې ده.



۲ انځور. د ترانسپورټ د اسانتيا په موخه د ريکټور د لوښي قطعه بندي. [۵]

پرمختللي انشقاقي ريکتورونه لکه SMRsاو AHTRد ماډلر ساختماني ډيزاينونو له لارې په هستوي صنعت کې بنسټيز بدلونونه رامنځته کړي دي په فابريکه کې د پرزو معياري توليد د جوړولو لګښتونه او وخت په بې ساري ډول راکموي .دغه ډيزاينونه د **غير فعال خوندیتوب** په مرسته لوړ امنيت او د انرژۍ شبکې لوړ انعطاف تضمينوي) .[۵],[۱]

د څېړنې کړنلاره

دا څېړنه د مقايسوي او مروري ميتود پر بنسټ ترسره شوې چې اساسي هدف يې په انشقاقی ريکتورونو کې د پرمختللو ساختماني ډيزاينونو مقايسوي او مروري ارزونه ده. د څېړنې معلومات په انګليسي ژبه له ثانوي سرچينو څخه راټول شوي چې پکې له معتبر ژورنالونو لکه Elsevier, Science Direct, Web of Science, Progress in Nuclear Energy , Scopus څخه معلومات را اخيستل شوي، او د هستوی فزيک اړوند معتبر علمي ژورنالونو لکه Progress in Nuclear Energy، Journal of Nuclear Materials ، اوMassachusetts Institute of Technology تر استفادې لاندې نيول شوي دي. ما د خپلې څېړنې لپاره لومړی په هستوي او اتومي برخه کې د ريکتورونو موضوع وټاکله کوم چې په يادە موضوع کې په ګڼ تعداد نړيوالې مقالې ،کتابونه او راپورونه موجود ول. ددې لپاره چې د څېړنې ساحه رامحدوده کړم نو بيا مې د انشقاقي ريکتورونو موضوع وټاکله. مګر بيا هم په يادە برخه کې د زرګونو په شاخوا مقالې او کتابونه موجود ول. بيا مې ددويم ځل لپاره د خپلې څېړنې ساحه نوره هم رامحدوده کړه او د (د پرمختللو انشقاقي ريکتورونو د ساختماني ډيزاينونو مقايسوي ارزونه) تر عنوان لاندې موضوع مې وټاکله کوم چې ياد عنوان محدود شميرې(۳۰) مقالې درلودلې او د هغوی له جملې څخه ما د خپلې څېړنې لپاره (۱۳) وټاکلې او د سريع مرور له مخې می کولای شول يوه علمی نتيجه په لاس راوړم.

د AHTR ریکتور

❖ تعریف او بنسټیز ډیزاین

AHTR د څلورم نسل یو پرمختللی ریکتور (FHR) دی چې د فلورایډ مایع مالګې (FLiBe) په واسطه په اتموسفیري فشار کې سړېږي دغه ډیزاین د TRISOسون توکي کاروي چې د تودوخې او وړانګو پر وړاندې لوړ مقاومت لري .په دې کې کوچنی ماډلر (SmAHTR)او لوی ۳۴۰۰ میګاواټه حرارتي ریکتورونه شامل دي[۸],[۵] .

د AHTRد ریکټور یو نوی ډیزاین دی چې د ګرافیټ میټریکس سون توکي کاروي، مګر د یخولو لپاره د مایع فلورایډ مالګې څخه ګټه اخلي. دا ریکټور په لوړه تودوخه (تر ۷۰۰ درجو پورته) او نږدې اتموسفیري فشار کې کار کوي. په دې کې TRISOذرات کارول کېږي او د ذاتي خوندیتوب لپاره منفي غبرګوني رضیب لري[۱۰].

(AHTR) یا د پرمختللي لوړې تودوخې ریکتور (Advanced High Temperature Reactor) د پرمختللو ریکتورونو له ډلې څخه دی چې د فلورایډ مالګې په واسطه د سړېدونکو ریکتورونو(FHR) په کټګورۍ کې راځي . دا ریکتور د لوی خروجي ځواک (Large Power Output) لپاره ډیزاین شوی چې (۳٤۰۰) میګاواټه حرارت او (۱۵۳۰) میګاواټه برېښنا تولیدوي. د دې ریکتور یو له مهمو ځانګړتیاوو څخه دا ده چې په اتموسفیري فشار (Atmospheric Pressure) کې کار کوي، چې له امله یې ساختماني دیوالونه نري او ډیزاین یې ساده کیدی شي [۵].

❖ حرارتي موثریت او سون توکي

د (AHTR) ریکتور حرارتي موثریت (٤۵٪) ته رسېږي، چې د اوسنیو رنړ اوبو ریکتورونو په پرتله خورا لوړ دی .په دغه ریکتور کې د (TRISO) په نوم له پوښل شوو ذراتو څخه جوړ شوي سون توکي کارول کېږي چې په ګرافیټي پلیټونو کې ځای پر ځای شوي وي، کوم چې د خورا لوړې تودوخې (Core Outlet Temperature = ۷۰۰°C) د زغملو وړتیا لري د سړوونکي(Coolant) په توګه په کې مایع فلورایډ مالګه لکه (FLiBe) کارول کېږي چې د حرارت د انتقال غوره وړتیا لري [۵].

❖ غیر فعال خوندیتوب سیستمونه

د خوندیتوب په برخه کې، (AHTR) په بشپړ ډول د غیر فعال (Passive) فلسفې پر بنسټ ولاړ دی. دا ریکتور د پاتې شونې تودوخې د ایستلو لپاره د (Direct Reactor Auxiliary Cooling System) یا(DRACS) سیستم کاروي، چې حتی د برېښنا د بشپړ قطع کېدو پر مهال هم تودوخه په طبیعي ډول اتموسفیر ته انتقالوي. د ریکتور خاموشولو سیستمونه هم په غیر فعال ډول کار کوي؛ کنټرول بلیډونه(Blades) یا کنټرولي میلې د جاذبې قوې په واسطه په هسته کې لوېږي او د بېرني حالت لپاره په سړوونکې مالګه کې د نیوټرون جذبونکې موادو پیچکاري کول هم په پام کې نیول شوي دي [۵],[۱].

❖ ساختماني او اقتصادي ګټې

(AHTR) یو ماډلر ریکتور دی چې برخې یې په فابریکه کې په معیاري ډول جوړېږي او بیا په ساحه کې نصب کېږي، چې دا چاره د جوړولو موده تر (۳۶) میاشتو پورې راکموي [۵]. د ریکتور ودانۍ د ځمکې لاندې جوړېږي ترڅو د

بهرنيو بريدونو او الوتکو له ټکر ځخه خوندي وي همدارنګه، د سون توکو د بدلولو (Refueling) عمليه په هرو شپږو مياشتو کې په اتوماتيک ډول ترسره کېږي چې د ريکتور عملياتي وړتيا (Availability) (تر (۹۲٪) پورې لوړوي [۱],[۵] په خلاصه ډول، AHTR د خوندیتوب، لوړ موثريت او ماډلر ساختمان په درلودلو سره د راتلونکي نسل يو خوندي او اقتصادي ريکتور ګڼل کېږي. لاندې انځور د (AHTR)په ځېر ډيزاينونه راښيي [۵].



۳ انځور. د AHTR ريکتور ساختمان [۵]

- غير فعال خوندیتوب سيستمونه او ساختماني ساده توب

د پرمختللو ريکتورونو په ساختماني ډيزاين کې يو بنسټيز بدلون د فعالو (Active) سيستمونو پر ځای د غير فعالو (Passive)خوندیتوب سيستمونو کارول دي[۱۲] . د غير فعالو سيستمونو د ډيزاين او کاري ځواک(Driving Force) پر دقيقومحاسبو ولاړي دي کوم چې په دغه رياضيکي معادلې په لاندې ډول دي:

لومړی د حرارتی لېږد معادله

$$Q = KA(t_{RVP} - t_C) = m(t_{RVP} - t_{out}) \qquad (۱)$$

په پورتنۍ معادله کې Q د حرارت د انتقال مقدار K د حرارت د انتقال ضريب، Aد حرارات د تبادلې موثره سطح، t_{RVP} د ريکتور دفشار لوښی، t_Cد يخوونکی د حرارت درجه ده.

دويم د هايدرولیکی لېږد معادله

$$DP = (\rho_O h_C - P_{RPV} h_{RPV})g = ۱/۲\, m^۲(\sum Z_i/\rho_i A_i^۲) \qquad (۲)$$

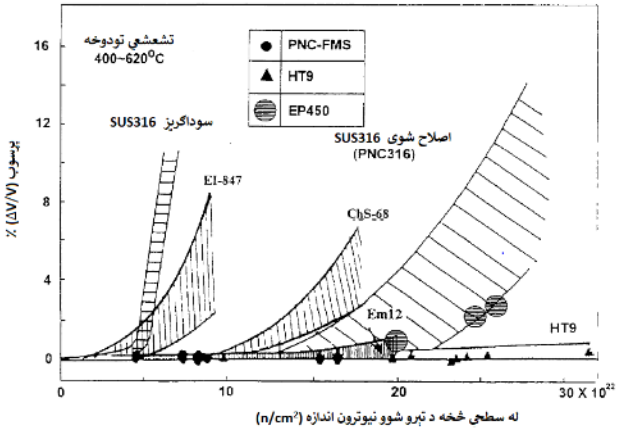
په پورتنۍ معادله کې DP دفشار توپير، ρ_O دسړې برخې کثافت، h_C د سړی برخې لوړوالی ، h_{RPV} دريکتور د فشار لوښي ګرمه برخه کې د يخوونکي کثافت ، m ديخوونکي کتلې د جريان کچه ، ρ_i دمايع کثافت Z_i د جريان د مقاومت ضريب، Aد حرارات د تبادلې موثره سطح ده.

غير فعال سيستمونه د طبيعي قوو لکه جاذبې، طبيعي جريان (Natural Circulation) او د موادو د فزيکي ځانګړتياوو پر بنسټ کار کوي، چې د پېښو پر مهال د انساني مداخلې او بربښنايي قوو اړتيا له منځه وړي(IAEA, ۱۹۹۱, ۲۰۱۹) . په ډيزاينونو لکه (AP۱۰۰۰) او (AC۶۰۰) کې، د غير فعالو سيستمونو ادغام د پمپونو، والونو او ډيزلي جنراتورونو شمېر

خوراکم کړی دی، چې دا کار د ریکتور ساختماني جوړښت ساده او د ساتنې لګښتونه یې راکم کړي دي[۹]. څېړنې دا هم په ګوته کوي چې که څه هم غیر فعال سیسټمونه د اعتماد وړ دي، مګر د هغوی د چلولو محرکه قوه ضعیفه ده، نو ځکه په ډیزاین کې باید دقیقې فزیکي محاسبې په پام کې ونیول شي[۱۲]

- ساختماني مواد او د وړانګو په وړاندې د هغوی مقاومت

د ریکتورونو د عمر او ثبات لپاره د ساختماني موادو ټاکنه یو بل مهم بحث دی. د څلورم نسل ریکتورونو لپاره، مواد باید د لوړې تودوخې او شدید نیوټروني دوز په وړاندې مقاومت ولري. په تېرو څېړنو کې د استینیټیک سټیلونو او فیریټیک-مارټینسیټیک الیاژونو ترمنځ مقایسه شوې ده. پایلو ښودلې چې مارټینسیټیک سټیلونه لکه (HT-۹) د لوړ دوز وړانګو لاندې د پړسوب (Swelling) په وړاندې د پام وړ مقاومت ښیي، چې دا د ریکتور د ساختماني ژوند د غځولو لپاره خورا حیاتي دي سربېره پردې، د ریکتور د فشار لرونکي لوښي (RPV) د بشپړتیا ارزونه، په ځانګړې ډول د فشار لرونکي حرارتي شاک (PTS) په وړاندې، د ساختماني ډیزاین یوه پیچلې برخه ده چې د موادو د ماټېدو میخانیک (Fracture Mechanics)ته جدي پاملرنه غواړي د سون میلو لپاره د ساختمانی موادو پرسېدنه په لاندې انځور کې ښودل شوې ده. [۹]



٤ انځور. د چټک بریډر ریکتور (FBR) د سون میلو لپاره د ساختماني موادو پرسېدنه [۲]

د وړانګو اغېزه په ساختماني موادو کې پنځه ناوړه پدیدې لکه **سختوالی، ماټېدل، کرېپ(Creep) ، وده او پړسوب** رامنځته کوي. څېړنې ښیي چې **فیریټیک او مارټینسیټیک سټیلونه** د استینیټیک (Austenitic) موادو په پرتله د **نیوټروني پړسوب** (Void Swelling)پر وړاندې خورا لوړ مقاومت لري .همدارنګه، د دغو موادو پایښت د هغوی په کریستالي جوړښت او د ریکتور په داخل کې د تودوخې پر دقیق مدیریت پورې اړه لري .[۱۳]

د ساختماني موادو د پړسوب معادله په لاندې ډول ده.

$$\frac{\Delta V}{V} = A(kt-\tau)^m cosh^{-1}[B(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_m})] \qquad (۳)$$

په پورتنۍ معادله کې $\frac{\Delta V}{V}$ د موادو نسبي حجمي پرسوب، A دموادو تجربي ثابت، k دد پرسوب یا وړانګو د اغېز کچه، t دد وړانګو اغېزمن وخت، τ دد پرسوب د پیل آستانه، m دتجربي نما، B دموادو او تودوخې اړوند تجربي ثابت، T دد موادو مطلقه تودوخه T_m د د موادو د وېلې کېدو مطلقه تودوخه ده.

د فشار لرونکي حرارتي شاک (PTS) پر مهال د حرارتي سټریس معادله په لاندې ډول ده.

$$\sigma_{tcv(z,t)} = E\alpha\left(T_{mean,outside\ plume} - T_{mean,in\ Plume}\right) \qquad (٤)$$

په پورتنۍ معادله کې $\sigma_{tcv(z,t)}$ دد فشار لرونکي حرارتي شاک، E د موادو د الاستیکي ماډول، α دموادو د حرارتي انبساط ضریب، $T_{mean,outside\ plume}$ د د Plume له سیمې څخه بهر د موادو منځنۍ تودوخه، د $T_{mean,in\ Plume}$ د د Plume په سیمه کې د موادو منځنۍ تودوخه،

د څېړنې موندنې او نتایج

- ساختماني نوښتونه: ماډلریت او د جوړولو موثریت

د پرمختللو انشقاقي ریکتورونو لکه (AHTR) په ساختماني ډیزاین کې یو له بنسټیزو موندنو څخه د ماډلر جوړښت (Modular Construction) کارول دي [۵]. د دودیزو ریکتورونو په خلاف، دا ډیزاینونه اجازه ورکوي چې برخې یې په فابریکو کې جوړې او په ساحه کې نصب شي، چې دا کار د کیفیت کنټرول اسانه کوي او لګښتونه راکموي [۵] ,[٦]. په ځانګړې ډول، د (AHTR) ریکتور په اتموسفیري فشار کې کار کوي، نو ځکه یې ساختماني لوښی (Vessel) نري دیوالونه لرلای شي او درنو ساختماني موادو ته اړتیا نلري. سربېره پردې، د (APR١٤٠٠) او (AP١٠٠٠) په څېر ډیزاینونو کې د ساختماني برخو معیاري کول د دې لامل شوی چې د جوړولو موده په بې ساري ډول لنډه شي [۳].

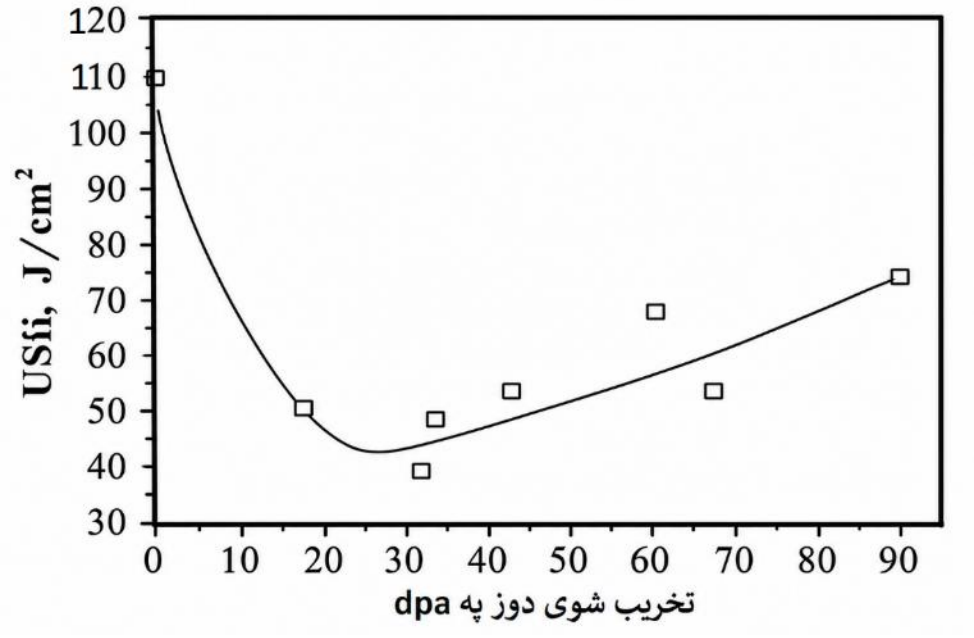
- د خوندیتوب سیسټمونه: د فعالو او غیر فعالو ډیزاینونو مقایسه

د ساختماني ډیزاینونو په مقایسوي ارزونه کې بله مهمه موندنه د غیر فعالو(Passive) خوندیتوب سیسټمونو برلاسی دی چې د طبیعي قوو لکه جاذبې او طبیعي جریان پر بنسټ کار کوي په ډیزاینونو لکه (AP٦٠٠) او (AP١٠٠٠) کې، د غیر فعالو سیسټمونو ادغام د والونو، پمپونو او پیچلو برېښنایي کیبلونو شمېر تر ۵۰٪ پورې کم کړی دی، چې دا په مستقیم ډول د ریکتور ساختماني ساده توب او اعتبار زیاتوي [۳] موندنې ښیي چې دا سیسټمونه ریکتور ته اجازه ورکوي چې د یوې حادثې وروسته تر (۷۲) ساعتونو پورې پرته له انساني مداخلې خوندي پاتې شي [۳]. همدارنګه، په (AHTR) ډیزاین کې د پاتې شونې تودوخې د ایستلو سیسټم(DRACS) ثابتوي چې حتی د بشپړې برېښنا د نشتوالي پر مهال هم تودوخه په طبیعي ډول اتموسفیر ته انتقالېږي[۵].

➢ ساختماني مواد: د وړانګو او تودوخې په وړاندې مقاومت

د موادو د علم له نظره، موندنې ښيي چې د پرمختللو ریکتورونو ثبات د نویو الیاژونو په کارولو پورې تړلی دی [٦].

څېړنو ثابته کړې چې فیریتیک-مارټینسیټیک سټیلونه لکه (EP-٤٥٠) او(HT-٩) د استینیټیک سټیلونو په پرتله د نیوټروني پړسوب (Void Swelling) په وړاندې خورا لوړ مقاومت لري [٢] تجربوي ډاټا ښيي چې (EP-٤٥٠) سټیل تر لوړ دوز وړانګو لاندې خپله ساختماني بشپړتیا ساتلی شي، چې دا د ریکتور د عمر د (٦٠) کلونو پورې غځولو لپاره حیاتي ده [٢] . موندنې دا هم په ګوته کوي چې په ډیزاین کې د تودوخې دقیق کنټرول د موادو د ماټېدو



(Embrittlement) د مخنیوي لپاره یو اساسي فکتور موندل شوی دی [٦] .

(٥) انځور. د زیان ډوز اغېزه د (EP-٤٥٠) فولاد د (USE) د ضربې انرژۍ د جذب پر وړتیا باندې، چې د فرعي اسمبلۍ ګانو د پوښ موادو ((Wrapper Materialپه توګه کارول شوی او د $^{\circ}C$ (٣٦٥ − ٣٥٠) تودوخه کې تشعشع شوی دی [٢] .

دا معادله د وړانګو د ډوز (dpa) په اساس د موادو د تسلیمي د حد (Yield Stress) زیاتوالی محاسبه کوي.

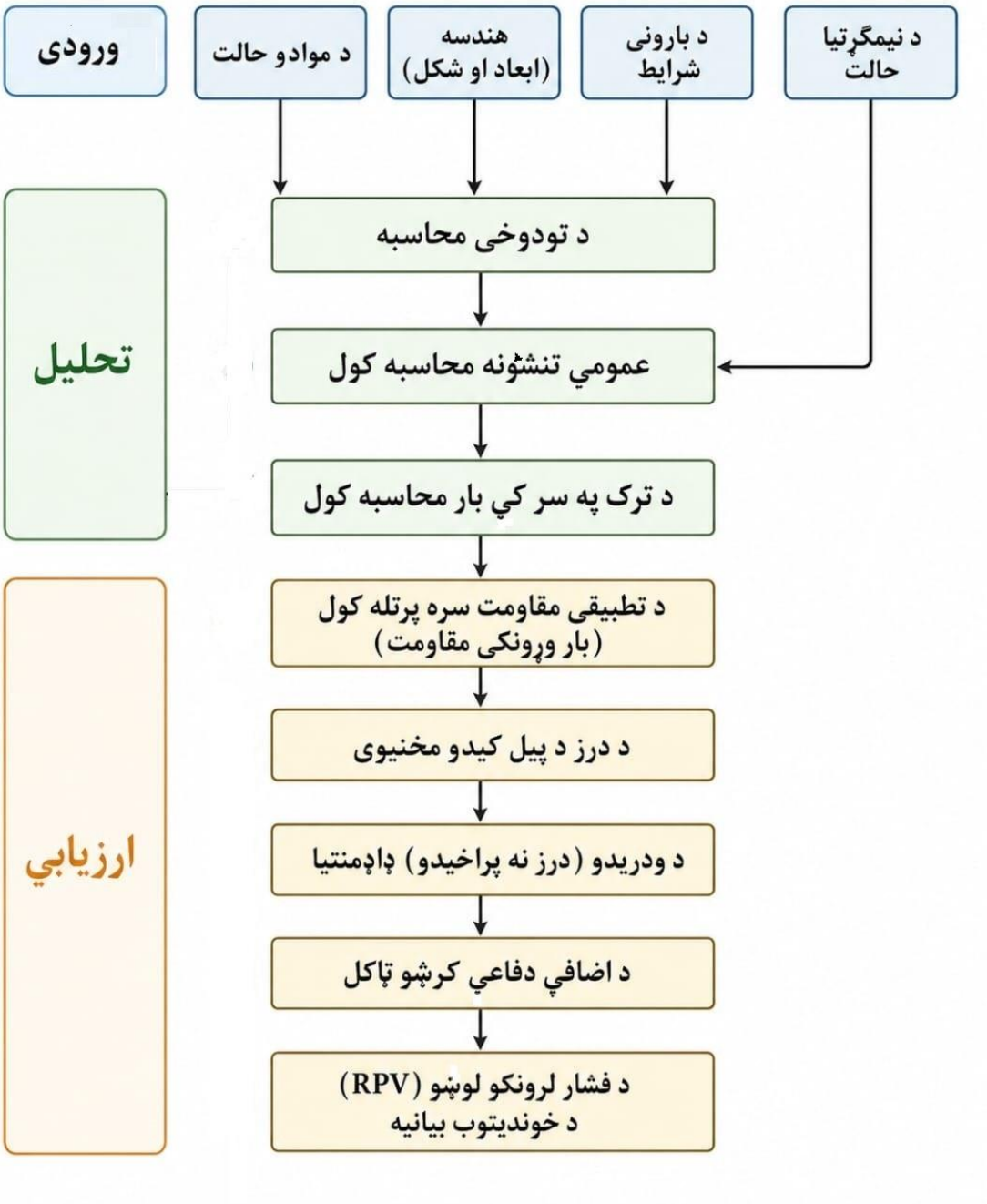
$$\Delta\sigma_y, MPa = ٣٠٠(dpa)^{٠.٢} \qquad (٥)$$

په پورتنۍ معادله کې $\Delta\sigma_y$ د MPa په واحد سره د حاصل قوت زیاتوالی او dpa د MPa د هر اټوم د بې ځایه کېدو شمېر ښيي.

➢ د فشار لرونکي لوښي (RPV) بشپړتیا او د حرارتي شاک تحلیل

د ریکتور د تر ټولو مهمې ساختماني برخې په توګه، د ریکتور د فشار لرونکي لوښي (RPV) بشپړتیا ارزونه ښيي چې فشار لرونکی حرارتي شاک (PTS) د ریکتور د ژوند تر ټولو جدي ننګونه ده. د مقایسوي تحلیل له مخې، په پرمختللو ډیزاینونو کې د کم مسو (Low-Copper) سټیلونو کارول د (RPV) عمر په پام وړ ډول زیات کړی دی.د څېړنې موندنې

ښيي چې د حرارتي پروسې (Annealing) په واسطه د ريکتور د ديوالونو ميخانيکي ځانګړتياوې نړدې په بشپړ ډول بېرته رغول کېدی شي، چې دا چاره د (RPV) د نړېدو مخه نيسي[۹] .



٦ انځور. د ماتېدنې ميخانيک پر بنسټ د (PTS) تحليل عمومي کړنلاره. [۹]

- اقتصادي او عملياتي شاخصونه

په پای کې، د ساختماني ډیزاینونو موندنې د انرژۍ پر وروستي لګښت (LCOE) مستقیم اغیز لري [٦] . که څه هم پرمختللي ریکتورونه په پیل کې لوړې پانګونې ته اړتیا لري، مګر د دوی لوړ حرارتي موثریت (لکه AHTR چې٪٤٥ موثریت لري) او اوږد عملیاتي عمر د انرژۍ قیمت په اوږدمهاله کې راکموي [٥] . د موندنو له مخې، کوچني ماډلر ریکتورونه (SMRs) د خپل کوچني سایز او ساده ساختمان له امله د هغو هیوادونو لپاره غوره انتخاب دی چې د برېښنا کوچنۍ شبکې لري [٣]. په خلاصه ډول، څېړنه دا ثابتوي چې ساختماني ډیزاینونه د غیر فعال خوندیتوب او ماډلریت پر لور په حرکت کې دي ترڅو د هستوي انرژۍ ډاډمنتیا یقیني کړي[٤],[٦] .

مناقشه

د هستوي ریکتورونو په ساختماني ډیزاین کې یو بنسټیز بدلون له دودیزو پیچلو جوړښتونو څخه د ماډلریت (Modularity)او غیر فعالو (Passive) خوندیتوب سیستمونو پر لور رامنځته شوی دی. د پرمختللو ریکتورونو، په ځانګړي ډول د **AHTR**، تحلیل څرګندوي چې د اتموسفیر په فشار کې کار کول نه یوازې ساختماني پیچلتیا کموي، بلکې د ریکتور د فشار لرونکي لوښي د نریو دیوالونو کارولو ته هم زمینه برابروي. دا ځانګړنه د جوړولو لګښت، د موادو مصرف او د رغونې وخت د پام وړ راکموي.

همدارنګه، په پرمختللو ډیزاینونو لکه **AP١٠٠٠** او **AC٦٠٠** کې د غیر فعالو خوندیتوب سیستمونو ادغام د والونو، پمپونو او برېښنایي تجهیزاتو شمېر د پام وړ کم کړی دی، چې په پایله کې یې د ریکتور ساختماني جوړښت ساده شوی، د سیستم اعتبار زیات شوی او د پېښو پر مهال د انساني مداخلې اړتیا تر ډېره له منځه تللې ده.

د پرمختللو ریکتورونو ترمنځ د پرتلیزې ارزونې پایلې ښیي چې که څه هم د دوی اساسي موخه د خوندیتوب لوړول او د چاپېریال ساتنه ده، خو د ډیزاین له پلوه په دوو اصلي ډلو وېشل کېږي. تدریجي (Evolutionary) ډیزاینونه د دودیزو رڼو اوبو ریکتورونو اصلاح شوې بڼه وړاندې کوي، په داسې حال کې چې نوښتګر (Innovative) ډیزاینونه نوې ټکنالوژۍ او نوي یخوونکي کاروي. د بېلګې په توګه، **AHTR** د لوړ حرارتي موثریت له امله د دودیزو ریکتورونو په پرتله غوره فعالیت څرګندوي.

د ساختماني موادو د ارزونې پایلې هم څرګندوي چې فیریټیک–مارټینسیټیک فولادونه، لکه **EP-٤٥٠** او **HT-٩** ، د استینیټیک فولادونو په پرتله د نیوټروني پرسوب پر وړاندې لوړ مقاومت لري. دغه ځانګړنه د ریکتور د ساختماني برخو د اوږدمهاله ثبات او د عملیاتي عمر د زیاتوالي لپاره مهمه ده.

سره له دې چې غیر فعال خوندیتوب سیستمونه لوړ اعتبار لري او تر ٧٢ ساعتونو پورې د بهرنۍ برېښنا او انساني مداخلې پرته د ریکتور خوندیتوب ساتلی شي، خو د هغوی د محرکې قوې محدودیت دا ایجابوي چې د طبیعي دوران، حرارتي لېږد او هایدرولیکي جریان اړوند دقیقې فزیکي او عددي محاسبې د ډیزاین په پراو کې په پام کې ونیول شي. همدارنګه، د ریکتور د فشار لرونکي لوښي اوږدمهاله ثبات لا هم یوه مهمه تخنیکي ننګونه ده، خو د حرارتي پروسې اینیلینګ (Annealing)تخنیک د دې ستونزې د کمولو او د ریکتور د عمر د غځولو لپاره اغېزمنه حل لاره ګڼل کېږي. وړاندیز کوم د ماډلري ساختماني ډیزاینونو او فابریکوي تولید (Factory Fabrication) پراختیا ته دې لومړیتوب ورکړل شي، ځکه دا طریقه د رغونې وخت، لګښت او ساختماني خطرونو په کمولو کې اغېزمنه ده.

پایله

د دې څېړنې موندنې څرګندوي چې د پرمختللو انشقاقي ریکتورونو د ساختماني ډیزاینونو اصلي موخه د خونديتوب لوړول، د ساختماني پیچلتیا کمول، د اقتصادي موثریت زیاتول او د ریکتورونو د عملیاتي عمر اوږدول دي. د ماډلري ډیزاینونو، غیر فعالو خوندیتوب سیستمونو او پرمختللو ساختماني موادو کارول د دغو موخو په ترلاسه کولو کې مهم رول لري.

څېړنې وښودله چې نوښتګر ریکتورونه، په ځانګړي ډول **AHTR** او کوچني ماډلر ریکتورونه (SMRs) ، د لوړ حرارتي موثریت، ساده ساختماني جوړښت او پرمختللو خوندیتوب ځانګړتیاوو له امله د راتلونکي هستوي انرژۍ لپاره مناسب انتخابونه ګڼل کېږي. سربېره پر دې، د فیریتیک–مارټینسیتیک فولادونو کارول د وړانګو له امله د رامنځته کېدونکي پرسوب او تخریب کچه راکموي او د ریکتور د مهمو ساختماني برخو پایښت زیاتوي.

د پایلو پر بنسټ سپارښتنه کېږي چې په راتلونکو څېړنو کې دې د نوو ساختماني موادو، پرمختللو مرکبونو، غیر فعالو خوندیتوب سیستمونو او ماډلري ساختماني ډیزاینونو پر اعتبار او عملي فعالیت لا ډېر تمرکز وشي. همدارنګه، د معیاري ډیزاینونو پراختیا، د فابریکوي تولید زیاتوالی او د جواز ورکولو د پروسو ساده کول کولای شي د پرمختللو انشقاقي ریکتورونو د پراخې کارونې او اقتصادي سیالۍ لپاره مناسب شرایط رامنځته کړي.

په ټوله کې، د ساختماني ډیزاینونو ساده کول، د طبیعي فزیکي قواؤ اغېزمنه کارونه او د پرمختللو موادو کارول د راتلونکي خوندي، پایښت لرونکي او اقتصادي هستوي انرژۍ د پراختیا لپاره اساسي بنسټ جوړوي.

ماخذ

[۱] J. I. Lee, "Numerical investigation on the modular construction and technical evaluation of Small Modular Reactors," *Nuclear Engineering and Technology*, ۲۰۲٤

[۲] International Atomic Energy Agency, *Influence of High Dose Irradiation on Core Structural and Fuel Materials in Advanced Reactors*, IAEA-TECDOC-۱۰۳۹, Vienna, Austria, ۱۹۹۸

[۳] International Atomic Energy Agency, *Status of Advanced Light Water Reactor Designs 2004*, IAEA-TECDOC-۱۳۹۱, Vienna, Austria, ۲۰۰٤

[٤] International Atomic Energy Agency, *Design of the Reactor Core for Nuclear Power Plants*, IAEA Safety Standards Series No. SSG-٥۲, Vienna, Austria, ۲۰۱۹

[٥] V. K. Varma *et al.*, "AHTR Mechanical, Structural, and Neutronic Preconceptual Design," Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, Rep. ORNL/TM-۲۰۱۲/۳۲۰, ۲۰۱۲

[٦] J. Buongiorno, M. Corradini, J. Parsons, and D. Petti, *The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World*, MIT Energy Initiative, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, ٢٠١٨

[٧] S. J. Wang, X. Huang, and B. P. Bromley, "System Thermal-hydraulics Model for Fluoride Salt-Cooled Reactor based on Small Advanced High Temperature Reactor (SmAHTR) Design Concept," draft manuscript, Canadian Nuclear Laboratories, Jan. ٢٠٢٣

[٨] Z. Zhu, D. Wang, V. de Almeida, C. Forsberg, and E. Shwageraus, "A Novel Core Design with Movable Moderator for a Fluoride Salt–Cooled High-Temperature Reactor," *Nuclear Science and Engineering*, vol. ١٩٧, no. ٦, pp. ١١٩٩-١٢١٥, ٢٠٢٣

[٩] International Atomic Energy Agency, *Pressurized Thermal Shock in Nuclear Power Plants: Good Practices for Assessment*, IAEA-TECDOC-١٦٢٧, Vienna, Austria, ٢٠١٠

[١٠] D. F. Williams, L. M. Toth, and K. T. Clarno, "Assessment of Candidate Molten Salt Coolants for the Advanced High-Temperature Reactor (AHTR)," Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, Rep. ORNL/TM-٢٠٠٦/١٢, Mar. ٢٠٠٦

[١١] D. I. Poston, M. A. Gibson, T. Godfroy, and P. R. McClure, "KRUSTY Reactor Design," *Nuclear Technology*, vol. ٢٠٦, no. sup١, pp. S١٣-S٣٠, ٢٠٢٠

[١٢] International Atomic Energy Agency, *Safety Related Terms for Advanced Nuclear Plants*, IAEA-TECDOC-٦٢٦, Vienna, Austria: IAEA, ١٩٩١

[١٣] P. Rodriguez, R. Krishnan, and C. V. Sundaram, "Radiation effects in nuclear reactor materials—Correlation with structure," *Bull. Mater. Sci.*, vol. ٦, no. ٢, pp. ٣٣٩-٣٦٧, May ١٩٨٤

بیوگرافی مولفین

١.نامزد پوهنیار نورالله فیض الباري د کابل پولی‌تخنیک پوهنتون د فزیک ډیپارټمنټ استاد دی. نومورې د لیسانس تر کچې تحصیلي زده کړې ترسره کړې دي او د تدریس او علمي فعالیتونو په برخه کې د فزیک له علمي څانګې سره تړاو لري.
د نومورې د علمي او څېړنیزو علاقو اساسي ساحه اتومي او هستوي فزیک ده.

٢.پوهاند احسان الله ثاقب د ننګرهار پوهنتون د ښوونې او روزنې پوهنځي د فزیک څانګې استاد دی. نومورې د ماسټرۍ تر کچې تحصیلي زده کړې ترسره کړې دي او د علمي او تدریسي فعالیتونو په برخه کې د فزیک له علمي څانګې سره تړاو لري.د نومورې د علمي څېړنو او مطالعاتو اساسي حوزه اتومي او هستوي فزیک ده.

٣.پوهاند محمد داؤد احمدزی د کابل پولی‌تخنیک پوهنتون د الکترومېخانیک پوهنځي د فزیک څانګې استاد دی. نومورې د ماسټرۍ تر کچې تحصیلي زده کړې ترسره کړې دي او د فزیک په برخه کې په تدریسي او علمي فعالیتونو بوخت دی. د نومورې د علمي څېړنو او مطالعاتو اساسي حوزه میخانیک فزیک ده