

PASİF GÜVENLİK SİSTEMLERİ TASARLAMA: ARIZA EMNİYETLİ NÜKLEER OPERASYONLAR İÇİN FİZİKTE YARARLANMA

Esin Yiğitbaşı¹

(1-Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fak., Fizik Mühendisliği, Beytepe Kampüsü, Ankara)

Özet

Pasif güvenlik özellikleri (yani, yerçekimi, basınç farkları veya doğal ısı taşınımı gibi doğal kuvvetlerden veya olaylardan yararlananlar) nükleer santrallerde aktif bir güç kaynağı gerektirmeden güvenlik işlevlerini yerine getirmek için kullanılmaktadır. Son zamanlarda yeni reaktör tasarımları, pasif sistemlerin son derece güvenilir olduğu ve pahalı pompalar, motorlar ve diğer ekipmanların yanı sıra yedek güvenlik sınıfı güç kaynakları gerektiren birden fazla ekipman gerektiren sistemlerin kurulum ve bakımıyla ilgili maliyeti azalttığı iddiasıyla, örneğin geçici durumlar, tasarım temelli kaza ve hatta ciddi kazalar sırasında çekirdek soğutması veya muhafaza soğutması gibi çeşitli amaçlar için pasif güvenlik özelliklerinden daha kapsamlı bir şekilde yararlanmaktadır. Bununla birlikte, örneğin doğal sirkülasyon ve küçük basınç farklılıklarına dayanan bu tür pasif güvenlik özelliklerinin çoğunun zayıf itici güçleri, çok çeşitli kaza koşulları ve ayrıca dahili veya harici tehlikelerden kaynaklanabilecek ek yükler için pasif sistemin tasarımı ve güvenlik gösteriminde önemli zorluklar yaratmaktadır.

Dünya çapındaki nükleer düzenleyiciler de yeni pasif ve yenilikçi reaktör tasarımlarının ruhsatlandırılmasında önemli zorluklarla karşı karşıyadır. Pasif sistemlerin veya güvenlik özelliklerinin güvenilirliğini göstermek için, farklı savunma seviyelerinin bağımsızlığını da derinlemesine ele alarak, tasarım gereksinimleri, fiziksel olayların analizi için yöntemler ve hesaplama araçları ile doğrulama için deneysel testler büyük önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: *Pasif güvenlik, nükleer santral, kaza, ciddi kaza, doğal sirkülasyon*

Abstract

Passive safety features (i.e., those that take advantage of natural forces or phenomena such as gravity, pressure differentials or natural heat transport) are used in nuclear power plants to perform safety functions without requiring an active power source. Recently, new reactor designs are making more extensive use of passive safety features for various purposes, e.g. core cooling or containment cooling during transients, design basis accidents or even severe accidents, with the claim that passive systems are highly reliable and reduce the cost associated with the installation and maintenance of systems requiring multiple pieces of equipment such as expensive pumps, motors and other equipment as well as redundant safety-grade power supplies. However, the weak driving forces of many such passive safety features, based for example on natural circulation and small pressure differences, create significant challenges in the design and safety demonstration of the passive system for a wide range of accident conditions, as well as for additional loads that may result from internal or external hazards.

Nuclear regulators worldwide also face significant challenges in licensing new passive and innovative reactor designs. To demonstrate the reliability of passive systems or safety features, design requirements, methods and computational tools for the analysis of physical phenomena, and experimental tests for verification are of great importance, taking into account the independence of different levels of defense in depth.

Key words: *Passive safety, nuclear power plant, accident, serious accident, natural circulation*

Giriş

Nükleer enerjide pasif güvenlik, nükleer santrallerdeki kazaların önlenmesinde kritik bir rol oynar. Pasif güvenlik sistemleri, insan müdahalesi veya harici güç kaynaklarına ihtiyaç duymadan, sadece fiziksel ve doğal süreçler ile çalışır. Bu sayede, özellikle acil durumlarda, sistemlerin güvenliği kesintisiz bir şekilde sağlanır. Örneğin, yerçekimi, doğal konveksiyon ve basınç farkları gibi doğa yasaları kullanılarak reaktör soğutma sistemleri aktif tutulabilir.

Pasif güvenliğin önemi, özellikle Fukushima ve Çernobil kazalarından sonra daha fazla vurgulanmaya başlanmıştır. Bu kazalar, aktif güvenlik sistemlerinin yetersiz kalabileceğini ve pasif sistemlerin, kriz anında güvenliği sağlama kapasitesinin yüksek olduğunu göstermiştir. Pasif güvenlik, bu anlamda reaktörlerin tasarımında bir "katmanlı savunma" yaklaşımı olarak kabul edilmekte ve reaktör güvenliğinin en üst seviyeye çıkarılmasını hedeflemektedir.

1.Pasif Güvenliğin Arkasındaki Temel Fizik

Gelişmiş nükleer teknolojilerin geliştirilmesi çerçevesinde, pasif sistemlerin güvenilirliği, gelecekteki nükleer santrallerde yaygın kullanımları nedeniyle önemli bir konu ve tartışılan bir alan haline gelmiştir (NEA, 2002). IAEA tanımlarına göre (IAEA, 1991), pasif bir bileşenin çalışması için herhangi bir dış girdiye veya enerjiye ihtiyacı yoktur ve yalnızca doğal fizik yasalarına (örneğin yerçekimi, doğal taşınım, iletim, vb.) ve/veya içsel özelliklere (malzemelerin özellikleri, dahili olarak depolanan enerji, vb.) ve/veya sistemde doğal olarak mevcut olan enerjinin 'akıllı' kullanımına (örneğin bozunma ısısı, kimyasal reaksiyonlar, vb.) dayanır.

1.1. Pasif güvenlik sistemlerinin temel özellikleri

Pasif güvenlik sistemleri esas olarak şunlarla karakterize edilir:

- uygun çalıştırma için aktif bileşenlere daha az bağımlılık;
- uygun çalışma için doğal olaylara (yerçekimi, diferansiyel basınç, vb.) bağımlılık;
- uygun çalışma için destek fonksiyonlarına ihtiyaç duymama;
- çalıştırma ve çalışma için insan müdahalesi gerektirmeme.

1.2. Pasif güvenlik sistemlerinin sınıflandırılması

Mevcut pasif güvenlik sistemlerinin çeşitliliği göz önüne alındığında, IAEA bunların azalan pasiflik seviyesine göre dört kategoriye sınıflandırılmasını önermektedir:

- hareketli mekanik parça veya işletme sıvısı gerektirmeyen, statik bileşenlerden veya yapılardan oluşan, harici güç kaynağı (elektrik veya başka) veya I&C sinyalleri kullanmayan sistemler(örneğin statik tutma bariyerleri, borular, tanklar, sismik geçirmez yapılar, vb.)
- hareketli mekanik parça içermeyen ve çalıştırma veya işletme için harici güç kaynağı veya I&Csinyalleri gerektirmeyen, ancak çalışma sıvısı gerektiren (örn. kondansatörler, termosifon soğutma sistemleri, tutma haznesi filtrasyon sistemleri, vb.) sistemler;
- çalıştırma veya işletme için harici güç kaynağı veya I&C sinyalleri gerektirmeyen, ancak hareketli mekanik parçalardan oluşan (örn. akümülatörler, tahliye vanaları, pasif basınç vericileri, kopma diskleri kullanan tutma havalandırma ve filtrasyon sistemleri, vb.) sistemler;
- manuel çalıştırma gerektirmeyen, ancak yine de başlatma için I&C sinyallerine veya harici bir güç kaynağına ihtiyaç duyan (ancak sonraki çalışma için değil) sistemler; Bu harici güç yalnızca

sıkıştırılmış sıvı tankları, üst tanklar veya piller gibi depolanmış enerji kaynakları tarafından sağlanabilir.(örneğin pompa tahrikli buhar türbinleri, pnömatik veya elektrikle çalışan akümülatörler, vb.)

1.3. Pasif güvenlik sistemlerinin çalışması ve performans özellikleri

Çalışma sıvıları kullanan pasif güvenlik sistemlerinin düzgün çalışması, genellikle düşük yoğunluklu tahrik kuvvetlerini (doğal konveksiyon gibi) içeren fiziksel olaylarla sağlanır. Bu tür olaylar çeşitli parametrelere duyarlı olabilir.Aktif bileşenler çalışmak için mekanik hareket veya harici güç gerektirir.

Pasif bir güvenlik sisteminin performansını değerlendirmek için, sistemi harekete geçirmek ve çalıştırmak için kullanılan fiziksel olayların yanı sıra sistemin düzgün bir şekilde harekete geçirilmesini veya çalışmasını engelleyebilecek olanların da çok iyi anlaşılması gerekir. Bu nedenle, öncelikle sistem tarafından gerçekleştirilen tüm işlevler için bu olgularla ilişkili ana parametreleri belirlemek ve ardından kullanılan hesaplama yazılımının sistem aktivasyonu ve çalışmasının varsayıldığı çalışma koşulları için güvenilir tahminler üretebildiğini göstermek gerekir.Bu gösterim genellikle, bunların reaktör ölçeğine temsiliyeti ve aktarımı sorununu gündeme getiren küçültülmüş ölçekli test sonuçlarına dayanacaktır.Ayrıca, oyundaki doğal kuvvetlerin düşük yoğunluğu göz önüne alındığında, pasif bir güvenlik sisteminin performans özellikleri ortam koşullarına veya dış tehlikelere (iklimsel, sismik, vb.) bağlıdır.

Pasif bir güvenlik sisteminin performans özellikleri gerçekleştirilen işlevlerin tüm süresi ve tesisin tüm hizmet ömrü boyunca gösterilmelidir.

1.4. Pasif sistemlerin uygulanmasına ilişkin değerlendirme

Derinlemesine savunma, pasif sistemlerin daha kapsamlı bir şekilde kullanıldığı yeni reaktör tasarımlarının geliştirilmesinin altında yatan temel güvenlik ilkesidir. Farklı derinlemesine savunma seviyeleri arasında yeterli derecede bağımsızlık elde etmeyi gerektirir. Ancak, belirli tasarımlarda, belirli bir doğal fiziksel olgunun iki farklı derinlemesine savunma seviyesinde çalışan pasif sistemlerin performansını etkileyebileceği görülmektedir. Örneğin,AP1000 pasif muhafaza soğutma sistemi (PCCS),savunma derinliği seviyesi 3 ile ilişkili kaza koşullarında, çekirdek erimesini önlemek için reaktör çekirdeğinden kalan ısıyı gidermek ve savunma derinliği seviyesi 4 ile ilişkili kaza koşullarında, çekirdek erimesi koşulları altında bütünlüğünü korumak için muhafazadan ısıyı gidermek için aynı fiziksel olguyu kullanır. Aynı fiziksel olguyu savunma derinliği seviyeleri 3 ve 4'te pasif bir sistemi çalıştırmak için kullanmak, olgunun tüm koşullar altında ilgili güvenlik fonksiyonunun doğru şekilde yürütülmesini sağlama yeteneğine çok yüksek derecede güven gerektirir.

Ayrıca, pasif bir güvenlik sistemi, mekanik veya elektriksel bir arıza olmasa bile, atanan işlevini yerine getiremeyebilir. Gerçekten de, daha önce belirtildiği gibi, pasif bir güvenlik sistemi, belirli koşullar altında işlevini yerine getirmek için yetersiz olabilecek düşük yoğunluklu olaylara (örn. doğal konveksiyon) dayanabilir. Bu tür bir arıza, söz konusu olayların sistem geometrisine (örn. basınç kaybı hassasiyeti), ortam parametrelerine ve tasarım beklentileri ile gerçek koşullar arasındaki uyumsuzluklara duyarlı olması durumunda meydana gelebilir. İşlevsel arıza olarak adlandırılan bu tür bir arıza, pasif bir güvenlik sisteminin çalıştırılmamasına veya kapanmamasına veya beklenmeyen çalışma koşullarına yol açabilir. Aynı fenomen, çeşitli pasif güvenlik sistemi bileşenleri, işlevsel bir arıza tüm bileşenleri etkileyebilir. Buna ortak mod arızası denir.

2.Nükleer reaktörler için pasif güvenlik sistemlerinin performansı ve güvenilirliği

Fransa'da faaliyet gösteren basınçlı su reaktörleri, çalışmak için çoğunlukla elektrik güç kaynağı gibi bir güç kaynağı gerektiren güvenlik sistemleriyle donatılmıştır. Bunlar ayrıca aşağıdakiler gibi pasif güvenlik özellikleri de içerir:

- a) nükleer fisyon reaksiyon kontrolü ve kapatma çubukları (elektrik gücü kaybında yer çekimiyle düşer);
- b) güvenlik enjeksiyon sistemi akümülatörleri (içerisindeki basınç önceden ayarlanmış bir değerin altına düştüğünde reaktör soğutma sistemine su enjekte eder);
- c) reaktör soğutma pompalarının gönüllü veya kazara kapatılmasından sonra termosifon soğutması (farklı altimetreye sahip reaktör soğutma sistemi bölgeleri arasındaki yoğunluk farklarından kaynaklanan doğal sirkülasyon akışıyla elde edilir);
- d) hidrojen rekombinatörleri (havadaki oksijenin kaza koşullarında muhafazada salınan hidrojenle rekombinasyon reaksiyonunu katalize eder). Nükleer santral tasarımcıları tarafından şu anda önerilen belirli nükleer reaktör tasarımları, reaktörü güvenli bir kapatma durumuna getirmek ve bu durumu uzun bir süre (AP1000 reaktörleri için 72 saat) insan müdahalesi olmadan ve destek fonksiyonlarına sınırlı bir şekilde güvenerek sürdürmek için pasif güvenlik sistemlerinden daha kapsamlı bir şekilde yararlanmaktadır. Ayrıca, Japonya'daki Fukuşima Nükleer Santrali'ndeki kazadan bu yana, özellikle uzun vadeli elektrik gücü veya ısı emici kaybı içeren kaza koşullarını hafifletmek için pasif güvenlik sistemlerine olan ilgi artmaktadır. Bu rapor, pasif güvenlik sistemlerinin temel özelliklerini hatırlatmakta ve bu tür sistemlerin performansını ve güvenilirliğini değerlendirmeye ilişkin temel zorlukları ve bu zorlukların üstesinden gelmek için geliştirilecek öncelikli araştırma alanlarını ana hatlarıyla belirtmektedir.

3.Gelişmiş Su Soğutmalı Reaktörlerde Pasif Güvenlik Sistemleri

Pasif güvenlik sistemleri, güvenlikle ilgili işlevleri gerçekleştirmek için harici güç veya kuvvet olmadan gerçekleşen doğal sirkülasyon veya buharlaşma gibi pasif süreçleri kullanır. Bu ders, pasif güvenlik sisteminin geliştirilmesindeki motive edici faktörler ve çeşitli pasif kavramların reaktör güvenlik sistemlerine uygulanması hakkında bilgi sağlar. Aşağıdaki ana WCR kategorilerinin her birindeki gelişmiş tasarımlardan örnek güvenlik sistemleri dahildir: PWR'ler, BWR'ler ve SMR'ler.

3.1.Gelişmiş reaktör sistemlerinde pasif güvenlik örnekleri

Bu bölüm, seçili WCR tasarımlarında kullanılan pasif güvenlik sistemlerinin açıklamalarını içerir. Bu açıklamalar IAEA İleri Reaktörler Bilgi Sistemi (ARIS) veritabanından çıkarılmış ve öğretilen kavramların kapsamına uyarlanmıştır. Açıklamalar, daha önce açıklananlar da dahil olmak üzere pasif güvenlik sistemlerinin gerçek ileri WCR tasarımlarına doğrudan uygulanmasını içerir.

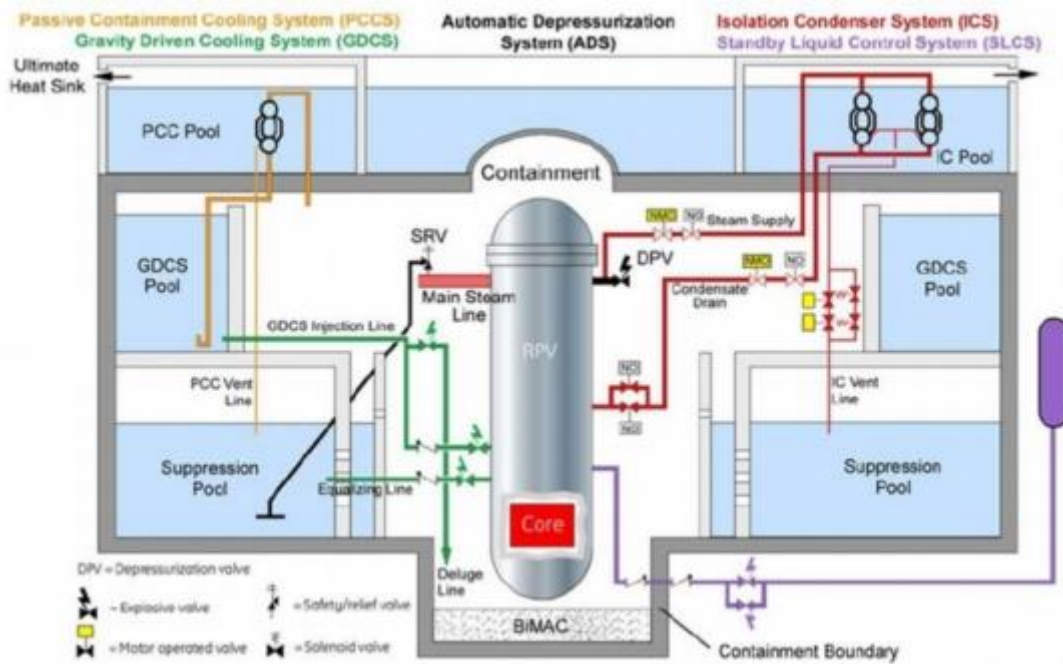
3.1.1 PWR tasarım örneği: VVER-1000 (V-466B)

VVER-1000 (V-466B), hem IAEA önerileri hem de Avrupa kamu hizmeti gereklilikleri dikkate alınarak Rus güvenlik gerekliliklerini karşılamak üzere tasarlanmıştır. Tasarım temelli kazaların yönetimi stratejisi hem aktif hem de pasif güvenlik sistemlerini kullanırken, tasarım temelli kazaların ötesindeki strateji esas olarak pasif güvenlik sistemlerinin kullanımına dayanmaktadır.

3.1.2. BWR tasarım örneği: Ekonomik Basitleştirilmiş Kaynar Su Reaktörü

Temel Ekonomik Basitleştirilmiş Kaynar Su Reaktörü (ESBWR) güvenlik tasarım felsefesi, sistem zorluklarını ortadan kaldırmak için doğal marjların (örneğin daha büyük hacimler ve su envanteri) kullanılması üzerine kuruludur. İlk savunma hattı, ayarlanabilir hız, motor tahrikli besleme suyu pompaları ve yedek güce sahip daha yüksek kapasiteli pompalar gibi tasarım özellikleriyle normal işletim sisteminin geçici durumları ve kazaları ele alma yeteneğini geliştirmektedir. İkinci savunma hattı olarak, tesisin geçici durumları ve kazaları ele alma yeteneğine güven sağlamak için tasarımda pasif güvenlik sistemleri kullanılır. Tüm güvenlikle ilgili sistemler, tasarıma dayalı bir kazadan sonra 72 saat boyunca güvenli ve istikrarlı koşulları korumak için hiçbir operatör eylemine gerek kalmayacak şekilde tasarlanmıştır.

Pasif güvenlik sistemi yapılandırmasının bir görünümü Şekil-1'de gösterilmiştir.



Şekil-1

3.1.3. SMR tasarım örneği: NuScale Power Modüler ve Ölçeklenebilir Reaktör

NuScale tesisi, tüm koşullar altında istikrarlı uzun vadeli nükleer çekirdek soğutması ve ciddi kaza azaltma sağlamak üzere tasarlanmış kapsamlı bir mühendislik güvenlik özellikleri setini içerir. Bunlara yüksek basınçlı bir tutma kabı, iki pasif bozunma ısısı giderme ve tutma ısısı giderme sistemleri ve ciddi kaza azaltma dahildir.

3.1.3.1. Muhafaza sistemi tasarımı

Muhafaza kabı, onu mevcut muhafaza tasarımlarından ayıran birkaç özelliğe sahiptir. Normal güç çalışması sırasında, muhafaza atmosferi reaktör kabından ısı kaybını önemli ölçüde azaltan bir yalıtım vakumu sağlamak için boşaltılır. Sonuç olarak, reaktör kabının yüzey yalıtımına ihtiyacı yoktur. Bu, hazne ekranı tıkanıklığı olasılığını ortadan kaldırır. Dahası, derin vakum, emniyet valflerinin bu alana buharı

boşalttığı herhangi bir dizide buhar yoğunlaşma oranlarını iyileştirir. Dahası, muhafaza havasını ortadan kaldırarak (az oksijen veya hiç oksijen yok), olası olmayan ciddi birkaza durumunda yanıcı bir hidrojen karışımının oluşmasını önler ve muhafaza içindeki korozyon ve nem sorunlarını ortadan kaldırır ve hidrojen rekombinatörlerine olan ihtiyacı ortadan kaldırır. Sonuç olarak, küçük bir LOCA kırılması durumunda reaktör ile muhafaza kapları arasındaki denge basıncı birkaç dakika içinde elde edilir ve her zaman muhafaza tasarım basıncının altında olur.

4. Pasif güvenlik sistemlerine yönelik zorluklar

Güvenilirliklerini çevreleyen avantajlara rağmen, pasif güvenlik sistemlerinin tasarımı ve uygulanmasında karşılaşılan birkaç aksilikler vardır. Aşağıdaki paragraflar başlıca sorunlardan birkaçını ele almaktadır.

a) Tasarım sınırlamaları ;

Günümüzde var olan birçok pasif güvenlik sisteminin, bir işlevi verimli bir şekilde yerine getirme yeteneklerini engelleyen tasarım sınırlamaları vardır. Doğal sirkülasyon ve küçük basınç farkları gibi zayıf itici güçler, çok çeşitli kaza koşulları ve iç veya dış tehlikeler tarafından empoze edilebilecek ek yükler için pasif sistemlerin tasarımı ve güvenlik gösteriminde önemli zorluklar ortaya çıkarmaktadır.

Ek olarak, birkaç pasif güvenlik sistemi çalışan bir sıvı kullanır. Bu nedenle, mevcut pasif güvenlik sistemleri genellikle önemli miktarda soğutma suyu kaybedilmeden ve daha fazla işlem gerekmeden önce yalnızca üç ila yedi gün dayanabilir. Bu, tesise önemli bir hasar gelmeden veya halka doz verilmeden önce genellikle birkaç saatten uzun süre çalışmayan birçok aktif sisteme göre önemli bir iyileştirme olmaya devam ederken, 'güvenli bir şekilde uzaklaş' reaktörünün oluşturulması mevcut tasarım yeteneklerinin ötesindedir. Bu şekilde, ekonomik olarak haklı gösterilebilir bir yedek soğutma tankının sınırlı boyutu gibi faktörler, pasif güvenlik sistemlerinin genişletilmiş işlevsellik süreleri için bir tasarım sınırlaması oluşturur.

b) Sistem bütünlüğü ;

Pasif güvenlik sistemlerinin performansı yapısal ve işlevsel bütünlüğün bozulmadan kalmasına bağlıdır. Birçok aktif sistemde olduğu gibi, pasif sistemlerin başarısız olabileceği birkaç yol daha vardır. Aşağıdakiler, pasif güvenlik sisteminin anormal çalışmasının veya işlevsel bozulmanın yaygın olarak varsayılan başlatıcılarını temsil eder:

- (i) İstem dışı çalıştırma;
- (ii) Bor kimyasal konsantrasyon kaymaları;
- (iii) Duvar çatlakları veya kopmaları;
- (iv) Flanş sızıntıları;
- (v) Akışın tersine dönmesi;
- (vi) Sıcaklık tabakalaşması;
- (vii) Vana arızaları (kontrol, PORV veya motorla çalıştırılan).
- (viii) Tanımın belirsizliği

(ix) Nükleer endüstride pasif güvenlik sistemlerine atfedilen tanımlamada çok az birlik olmuştur. Sonuç olarak, pasif güvenlik sistemlerinin kapasitesi, işlevi ve hatta güvenilirliği konusunda karışıklık ve sıklıkla yanlış anlamalar yaşanmıştır. IAEA tanımı çerçevesinde, tam pasiflik mutlaka daha güvenli, daha güvenilir bir tasarıma karşılık gelmez. Örneğin, aktif bir alternatife karşı yerçekimi veya doğal dolaşım sistemine güvenmek, doğal dolaşımın nispeten

zayıf itici gücü nedeniyle en iyi seçenek olmayabilir. Doğal dolaşım belirli durumlarda işlev görmek için daha güvenilir olsa da Pasif güvenlik sistemlerinin performansı yapısal ve işlevsel bütünlüğün bozulmadan kalmasına bağlıdır. Bunlara ek olarak, yalnızca aktif sistemleri değil, aynı zamanda harici girdiye dayanmayan sistemleri de engellemek veya devre dışı bırakmak için yerel olarak ortaya çıkabilecek (örneğin su baskını, kuvvetli darbe, yangınlar) düşünülebilir senaryolar mevcuttur. Pasif güvenlik sistemlerinin değerlendirilmesi bu nedenle olası arıza mekanizmalarını dikkate almalıdır.

Bu şekilde daha yüksek bir pasiflik tasarımının kullanımı, tamamen üstün bir tasarıma doğrudan bir ilişki olarak düşünülmemelidir. Sistem pasifliğinin, genellikle içsel pasiflik sergileyen sistemlere genişletilmesi nedeniyle geniş tanımından ek bir karışıklık ortaya çıkabilir. Örneğin, yakıt kaplaması veya reaktör muhafazası gibi fisyon ürünü salınımına bariyer görevi gören yapısal bileşenlerin en yüksek pasiflik seviyesini sergilediği kabul edilir. Yakıt kaplamasının altında yatan kavram, doğal sirkülasyon soğutma döngüleri, yerçekimi drenaj tankları ve akümülatörler kullanan tasarımların yenilikçiliğinden ve işlevsel karmaşıklığından çok uzaktır; ancak, pasiflik derecesini tanımlamak bu etki açısından hiçbir ayrım yapmaz.

c) Yetersiz veri ve işletme deneyimi;

Pasif güvenlik sistemlerine olan büyük ilgiye rağmen, deneysel veriler, fenomen tanımlama ve sıralama ve hatta çalışma koşullarının anlaşılması konusunda eksiklikler bulunmaktadır. Bu, pasif güvenlik sistemlerinin yeni veya mevcut bir tesisle entegrasyona girilmeden önce değerlendirme ve lisanslama konusunda önemli yatırımlar gerektirdiğini göstermektedir. Ancak, erken lisanslama çabaları, bu güvenlik sistemlerinin standart dışı geçici koşullarda ve alternatif modlarda çalıştırılmasına yönelik önemli bir ilgi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kaza koşullarına yol açan ve bu koşulların içine işleyen koşullar genellikle bilinmez ve belirsizdir. Bu nedenle, standart dışı çalışmayı çevreleyen koşulların anlaşılması, pasif güvenlik sistemi teknolojilerinin uygulanması için esastır. Çok az sayıda işletme tesisi pasif güvenlik sistemi kavramlarını kullanır. Bu nedenle, düzenleyicilerin yeni bir teknolojiyi uygulama karşısındaki tepkisi büyük ölçüde bilinmez ve büyük ölçüde belirsizlik içerir. Pasif güvenlik sistemi geliştiricisi, azaltılmış maliyet ve lisans belirsizlikleriyle artırılmış güvenliği doğrulayabilirse, nükleer reaktör güvenlik sistemleri için pazarın önemli bir bölümünü güvence altına alabilir.

5. SONUÇ

Güvenilir güvenlik sistemleri, bir kaza senaryosunun etkilerini azaltmada önemli bir rol oynar. Şu anda faaliyette olan reaktör filosunda, çekirdek bozunma ısısının giderilmesi büyük ölçüde, sürekli bir elektrik kaynağına dayanan güvenlik enjeksiyon pompaları veya besleme suyu pompaları gibi aktif güvenlik sistemleri tarafından gerçekleştirilir. Bu aktif sistemleri çalışmaz hale getirebilecek olaylarda, alternatif seçenekler mevcut olmalıdır. Birçok reaktörün çekirdek ısısının giderilmesine devam etmesinin bir yolu, aktif güvenlik sistemlerine yerinde acil durum jeneratörlerinden elektrik sağlamaktır; ancak, Fukuşima'da bu jeneratörlerin hasar görmesi ve arızalanmasıyla gösterildiği gibi, bu mükemmel bir çözüm değildir. Gelişmiş su soğutmalı reaktör tasarımları, pasif güvenlik sistemlerinin kullanımı yoluyla kaza senaryoları için güvenlik sistemi güvenilirliğini artırmak için adımlar atar. Gelişmiş reaktör tasarımları, kaza olaylarında harici güç veya operatör eylemi ihtiyacını azaltmak için pasif güvenlik kavramlarını uygular.

Bu güvenlik sistemlerinde kullanılan birçok pasif olgu, genel reaktör tasarımı ve işletimine özgüdür. Örneğin, sistemin basınç ve sıcaklık dağılımı nedeniyle PWR'lerin birincil soğutma

döngüsünde doğal sirkülasyon kuvvetleri mevcuttur; ancak, normal reaktör çalışması sırasında gözlemlenebilir etki, soğutma pompalarının önemli ölçüde daha fazla kuvvetle çalışması tipik olduğundan nispeten küçüktür.

Bu doğal sirkülasyon akışı, istasyon karartması gibi olaylarda baskın bir mekanizma haline gelir ve herhangi bir harici güç veya operatör eylemi olmadan çekirdek bozunma ısını gidermeye devam eder. Bu doğal pasif mekanizmalara ek olarak, doğal sirkülasyon soğutma döngüleri veya yerçekimi drenaj tankları gibi güvenlik sistemleri, sistemde depolanan enerjiden (örneğin basınç farkları, yerçekimi) yararlanmak için bir reaktör tasarımında uygulanabilir. Birçok pasif güvenlik sistemi kısmen aktif bileşenler kullanır; örneğin, doğal sirkülasyon döngüsünü açmak ve tamamlamak veya soğutma sıvısı enjekte etmek için acil durum sinyali alan vanalar. Pasif güvenlik sistemleri, sınırlı aktif bileşenlerle doğal kuvvetleri ve mevcut enerjiyi kullandığından, yüksek güvenilirlikle çalışırlar. Aktif güvenlik sistemleriyle karşılaştırıldığında bu güvenilir yapıya rağmen, pasif güvenlik sistemlerinin tasarımı ve uygulanması birçok zorlukla karşı karşıyadır.

Doğal sirkülasyon, yerçekimi ve buharlaşma gibi pasif sistemlerin arkasındaki itici güçler genellikle aktif muadillerinden (örneğin güvenlik enjeksiyon pompaları, besleme suyu pompaları) daha zayıftır. Ek olarak, gelişmiş WCR'lerde bulunan birçok pasif güvenlik sistemi tasarımı hala çalışma sırasında kaybolabilen ve bu nedenle yalnızca sınırlı bir süre işlev görebilen soğutma suyu gibi sürekli bir çalışma sıvısı tedarikine dayanmaktadır.

Bu teknik zorlukların ötesinde, pasif güvenlik sistemlerinin reaktör tasarımlarına entegrasyonu idari ve düzenleyici zorluklarla karşı karşıyadır. Bu sistem tasarımlarının çoğu henüz önemli bir operasyonel deneyim biriktirmemiştir ve bunların etkinliği ve güvenilirliği ölçülmesi zordur. Bu sorunlar, pasif olarak güvenli, gelişmiş güvenilirlik reaktörlerinin tasarımı, lisanslanması ve inşası önündeki en büyük engellerdir.

Bu zorluklara rağmen, pasif güvenlik sistemleri uygulamaları ve daha fazla geliştirmeleri için yeterli faydalar sağlar. Pasif güvenlik sistemleri birçok yeni reaktör tasarımında yaygın olarak kullanılmaktadır ve önümüzdeki yıllarda nükleer enerji endüstrisinin ilerlemesinde büyük rol oynayacaklardır.

6.Kaynakça

<https://www.iaea.org/topics/design-safety-nuclear-power-plants/passive-safety-features>

https://en.irs.fr/sites/en/files/2023-09/IRSN_Passive-safety-systems-for-nuclear-reactors_01-2016.pdf

<https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TCS-69web.pdf>