



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**«ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗ»
«NUCLEAR ENERGY AND INTERNATIONAL POLITICS »**

Υπό

Κασσάρας Μάρκος AM:2919033
Σκουλάξενος Ιωάννης - Ευστάθιος AM: 2919114

Πτυχιακή Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους απαιτήσεων
για την απόκτηση του Πτυχίου του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Πρώτος
Εξεταστής

Δρ. Παπανδριανός Νικόλαος
(Επιβλέπων) Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα
Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Δεύτερος
Εξεταστής

Δρ. Θεοδοσίου Θεοδόσιος
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας,
Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος
Εξεταστής

Δρ. Κωτσόπουλος Σπυρίδων
Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή
Τεχνολογίας Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Με το παρόν κείμενο βεβαιώνω ότι ο κάτωθι υπογράφων είμαι συγγραφέας της παρούσης πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και η οποία παραδόθηκε, μετά από έγκριση του επιβλέποντας καθηγητή μου, σε έντυπη και ψηφιακή μορφή στη Γραμματεία του Τμήματος. Επίσης δηλώνω πως κάθε πηγή που χρησιμοποίησα (βιβλιογραφία, αρθρογραφία, δικτυογραφία), για την υποστήριξη των υποθέσεων της μελέτης και της ερευνάς μου, είναι πλήρως συμβατή με τα ακολουθούμενα επιστημονικά πρότυπα και, επιπλέον, αναφέρεται ρητά, υπό μορφή αναφοράς-παραπομπής, σε όλο το φάσμα κειμένων της παρούσης εργασίας. Το αυτό ισχύει για τη χρήση δευτερογενών δεδομένων (πινάκων, διαγραμμάτων και εικόνων), ιδεών και λέξεων, τα οποία και αναφέρονται είτε ακριβώς όπως υπάρχουν στις πηγές είτε μεθερμηνεύονται από εμένα.

ΕΠΩΝΥΜΟ	ΚΑΣΣΑΡΑΣ
ΟΝΟΜΑ	ΜΑΡΚΟΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ	2919033
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	27.06.2025
ΥΠΟΓΡΑΦΗ	

© 2025. ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας της Σχολής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Με το παρόν κείμενο βεβαιώνω ότι ο κάτωθι υπογράφων είμαι συγγραφέας της παρούσης πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και η οποία παραδόθηκε, μετά από έγκριση του επιβλέποντας καθηγητή μου, σε έντυπη και ψηφιακή μορφή στη Γραμματεία του Τμήματος. Επίσης δηλώνω πως κάθε πηγή που χρησιμοποίησα (βιβλιογραφία, αρθρογραφία, δικτυογραφία), για την υποστήριξη των υποθέσεων της μελέτης και της ερευνάς μου, είναι πλήρως συμβατή με τα ακολουθούμενα επιστημονικά πρότυπα και, επιπλέον, αναφέρεται ρητά, υπό μορφή αναφοράς-παραπομπής, σε όλο το φάσμα κειμένων της παρούσης εργασίας. Το αυτό ισχύει για τη χρήση δευτερογενών δεδομένων (πινάκων, διαγραμμάτων και εικόνων), ιδεών και λέξεων, τα οποία και αναφέρονται είτε ακριβώς όπως υπάρχουν στις πηγές είτε μεθερμηνεύονται από εμένα.

ΕΠΩΝΥΜΟ	ΣΚΟΥΛΑΞΕΝΟΣ
ΟΝΟΜΑ	ΙΩΑΝΝΗΣ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ	2919114
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	27.06.2025
ΥΠΟΓΡΑΦΗ	

© 2025. ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας της Σχολής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία διερευνά τον ρόλο της πυρηνικής ενέργειας στο πλαίσιο της διεθνούς πολιτικής, εστιάζοντας στην τεχνολογική της εξέλιξη, στα νομικά και θεσμικά πλαίσια, στα ιστορικά πυρηνικά ατυχήματα, καθώς και στη χρήση της ως εργαλείο διπλωματίας και άσκησης ισχύος. Στόχος της μελέτης είναι να αναδείξει τον τρόπο με τον οποίο η πυρηνική τεχνολογία επηρεάζει τις διεθνείς σχέσεις, μέσα από χαρακτηριστικά παραδείγματα στρατηγικών συμμαχιών, ενεργειακής ασφάλειας και επιβολής οικονομικών κυρώσεων.

Η μεθοδολογική προσέγγιση βασίστηκε στην ανάλυση ιστορικών στοιχείων, επιστημονικών πηγών και διεθνών συμφωνιών. Τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι η πυρηνική ενέργεια μπορεί να λειτουργήσει τόσο ως μοχλός ανάπτυξης όσο και ως παράγοντας πρόκλησης εντάσεων, ανάλογα με τον τρόπο χρήσης της και το εκάστοτε γεωπολιτικό περιβάλλον. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται σε χώρες όπως το Ιράν, η Σαουδική Αραβία, η Ρωσία, οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Κίνα, καθώς και στις διεθνείς συνεργασίες και κυρώσεις που σχετίζονται με πυρηνικά προγράμματα.

Συμπερασματικά, η αποτελεσματική διαχείριση και ρύθμιση της πυρηνικής ενέργειας παραμένει καθοριστική για τη διασφάλιση της παγκόσμιας σταθερότητας και την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Λέξεις-Κλειδιά: Πυρηνική Ενέργεια, Διεθνής Πολιτική, Πυρηνικά Όπλα, Ενεργειακή Ασφάλεια, Διεθνείς Συνθήκες, Κυρώσεις

Abstract

This undergraduate thesis explores the role of nuclear energy within the context of international politics, focusing on its technological evolution, legal and institutional frameworks, historical nuclear accidents, and its use as a tool of diplomacy and power projection. The aim of the study is to highlight how nuclear technology influences international relations through examples of strategic alliances, energy security, and economic sanctions.

The methodology is based on the analysis of historical data, scientific sources, and international agreements. The findings indicate that nuclear energy can act both as a driver of development and as a source of tension, depending on its application and the surrounding geopolitical context. Particular reference is made to countries such as Iran, Saudi Arabia, Russia, the United States, and China, as well as to international collaborations and sanctions imposed due to nuclear energy programs.

In conclusion, the effective management and regulation of nuclear energy remains critical for maintaining global security and promoting sustainable development.

Keywords: Nuclear Energy, International Politics, Nuclear Weapons, Energy Security, International Treaties, Sanctions

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	5
Abstract	6
Κατάλογος Συντομογραφιών	11
Εισαγωγή	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ	15
1.1 Ορισμός	15
1.2 Πώς παράγεται η πυρηνική ενέργεια	15
1.2.1 Πυρηνική Σχάση, μοντέλο σχάσης της υγρής σταγόνας	15
1.2.2 Πυρηνική σύντηξη	19
1.2.3 Πυρηνική ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	20
1.3 Έλλειμμα μάζας – Ενέργεια σύνδεσης	21
1.4 Πυρηνικός Αντιδραστήρας	22
1.4.1 Ορισμός	22
1.4.2 Λειτουργία του πυρηνικού αντιδραστήρα	22
1.5 Ζητήματα Περιβαλλοντικού δικαίου	23
1.5.1 Πυρηνική ενέργεια και ραδιενεργά απόβλητα	24
1.5.2 Πυρηνική ενέργεια και παγκόσμια ασφάλεια	25
1.5.3 Πρόοδοι στην Πυρηνική Τεχνολογία	26
1.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	30
2.1 Ιστορική αναδρομή του θεσμικού πλαισίου για την Πυρηνική Ενέργεια: Από την προώθηση στον περιορισμό	30
2.2 Ισχύον νομικό και οργανωτικό πλαίσιο όσον αφορά την πυρηνική ασφάλεια	35
2.2.1 Διεθνή Νομικά Μέσα	35
2.2.2 Εθνικά Ρυθμιστικά Πλαίσια	37
2.3 Διεθνείς Συνθήκες και Οργανισμοί	39
2.3.1. Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ): Ένας πυλώνας πυρηνικής διακυβέρνησης	39
2.3.2 Συνθήκη για τη μη διάδοση των πυρηνικών όπλων (NPT: Non-Proliferation Treaty)	40
2.3.3 Συνολική Συνθήκη Απαγόρευσης Πυρηνικών Δοκιμών (CTBT): Παύση των πυρηνικών δοκιμών	41
2.3.4 Διεθνές Πλαίσιο Συνεργασίας για την Πυρηνική Ενέργεια (IFNEC): Διευκόλυνση της Συνεργασίας	41

2.3.5 Σύμβαση για την πυρηνική ασφάλεια (CNS): Ενίσχυση των προτύπων πυρηνικής ασφάλειας.....	42
2.3.6 Ειρηνικές Χρήσεις Πυρηνικής Ενέργειας και Βιώσιμη Ανάπτυξη	42
2.3.7 Πυρηνική Ενέργεια και Βιώσιμη Ανάπτυξη: Η Διεθνής Συνεργασία στην Παγκόσμια Έρευνα και Καινοτομία.....	44
2.4 Το θεσμικό πλαίσιο ως πηγή περιορισμού της Πυρηνικής Ενέργειας: η δεύτερη φάση	47
2.5 Εθνικά ιδρύματα: Ο Ρόλος των Ρυθμιστικών Αρχών στην Πυρηνική Ασφάλεια.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ	53
3.1 Ορισμός	53
3.2 Πυρηνική Τεχνολογία: Κίνδυνοι και Διδάγματα από Ιστορικά Ατυχήματα	53
3.2.1 Kyshtym Disaster (1957).....	54
3.2.2 Windscale Piles Fire (1957).....	55
3.2.3 Το Ατύχημα στο Three Mile Island (TMI,1979)	56
3.2.4 Η Καταστροφή του Τσερνόμπιλ (1986)	58
3.2.5 Tokaimura, Ιαπωνία (1999)	60
3.2.6 Η Πυρηνική καταστροφή Fukushima Daiichi (2011)	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΣ ΑΣΚΗΣΗ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ.....	65
4.1 Διπλωματία και Συμμαχίες: Η Πυρηνική Ενέργεια ως Μέσο Διπλωματίας και Διεθνούς Συνεργασίας.	65
4.1.1 Σχηματισμός και Ενίσχυση Συμμαχιών μέσω της Πυρηνικής Ενέργειας.....	66
4.1.2 Παραδείγματα χωρών και συμμαχιών	68
4.1.3 Προκλήσεις και κίνδυνοι της πυρηνικής ενέργειας	68
4.2 Ενεργειακή Ασφάλεια: Η στρατηγική σημασία της πυρηνικής ενέργειας για την ενεργειακή ασφάλεια και πώς αυτό επηρεάζει τις διεθνείς σχέσεις... 72	
4.2.1 Ορισμός και σημασία της Ενεργειακής Ασφάλειας	73
4.2.2 Ο Ρόλος της Πυρηνικής Ενέργειας στην Ενεργειακή Ασφάλεια	73
4.2.3 Στρατηγική Σημασία της Πυρηνικής Ενέργειας	74
4.3 Οικονομικά Κίνητρα και Κυρώσεις:	76
4.3.1 Επενδύσεις σε Πυρηνική Ενέργεια	77
4.3.2 Τεχνολογική Συνεργασία και Μεταφορά Τεχνολογίας	78
4.3.3 Οικονομικές Κυρώσεις και Περιορισμοί	80
Παραδείγματα Οικονομικών Κυρώσεων με Αντίκτυπο στις Εθνικές Οικονομίες	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΧΩΡΕΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΙ ΣΤΗΝ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ. 83	
5.1 Ανάπτυξη στην Μέση Ανατολή	85

5.1.1. Το πυρηνικό πρόγραμμα του Ιράν	85
5.1.2 Επενδύσεις στη Σαουδική Αραβία	93
5.1.3 Στρατηγική της Τουρκίας.....	100
5.2.1 Πολιτική της Ρωσίας για την πυρηνική ενέργεια	101
5.2.2 Ενίσχυση πυρηνικού οπλοστασίου της Ρωσίας.....	102
5.2.3 Κυριαρχία της Ρωσίας και της Κίνας στον σχεδιασμό πυρηνικών αντιδραστήρων	105
5.2.4 Εισαγωγές ρωσικού ουρανίου από την Κίνα	106
5.3 Οι ΗΠΑ και η χρήση της ατομικής ενέργειας	107
5.3.1 Πολιτική για την πυρηνική ενέργεια στις ΗΠΑ	107
5.3.2 Ιστορία της πολιτικής για την πυρηνική ενέργεια στις ΗΠΑ	108
5.3.3 Η Ρυθμιστική Επιτροπή Πυρηνικών στις ΗΠΑ	109
5.3.4 Μεγάλες επιτυχίες των ΗΠΑ για την πυρηνική ενέργεια το 2023....	110
5.4 Πυρηνική πολιτική στην Ευρώπη	112
5.4.1 Συμφωνία της Σουηδικής κυβέρνησης για την πυρηνική ενέργεια	112
5.4.3 Η Εξέλιξη της Πυρηνικής Πολιτικής στο Ηνωμένο Βασίλειο	117
5.5 Αναπτυξιακές τάσεις στην Ασία	118
5.5.1 Κίνα: Ηγέτης στην παραγωγή - Επένδυση της Κίνας σε πυρηνικούς αντιδραστήρες	118
5.5.2 Ιαπωνία: Προσαρμογή και Προκλήσεις.....	121
5.5.3 Ινδία: Επενδύσεις και προοπτικές	125
5.5.4 Η περίπτωση της Νότιας Κορέας.....	129
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΔΙΑΚΡΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	133
6.1 Συμφωνία ΗΠΑ–Φιλιππίνων για την Ανάπτυξη Πυρηνικής Ενέργειας ...	133
6.1.1 Περιεχόμενο και Ρυθμιστικό Πλαίσιο της Συμφωνίας ΗΠΑ– Φιλιππίνων.....	133
6.2 Συνεργασία Ινδίας–Ρωσίας στον Τομέα της Πυρηνικής Ενέργειας.....	134
6.3 Συμφωνία μεταξύ της Ινδίας και της Ιαπωνίας για παραγωγή πυρηνικής ενέργειας.....	134
Ιστορική συμφωνία για μεταφορά τεχνολογίας.....	134
6.4 Συνεργασία μεταξύ ΗΠΑ και Τουρκίας για την εξαγορά πυρηνικών αντιδραστήρων	135
6.5 Συνεργασία του Ιράν και της Ρωσίας στην πυρηνική ενέργεια	136
6.5.1 Κατασκευή της πρώτης πυρηνικής μονάδας.....	136
6.5.2 Αντιδράσεις των ΗΠΑ.....	136
6.5.3 Κατασκευή της δεύτερης πυρηνικής μονάδας.....	136

6.7 Συνεργασία στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας ανάμεσα στη Βουλγαρία και τη Γαλλία.....	138
6.8 Συμφωνία πυρηνικής συνεργασίας ανάμεσα στον Καναδά και την Ινδία	139
6.9 Συνεργασία στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας ανάμεσα σε Σουηδία και Γαλλία	140
6.10 Ρώσο-Κινέζικη συνεργασία στην πυρηνική ενέργεια.....	141
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΥΡΩΣΕΙΣ.....	143
7.1. Κυρώσεις κατά του Ιράν.....	143
7.1.4 Επιβολή κυρώσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης λόγω πυρηνικού προγράμματος του Ιράν	145
7.1.5 Κυρώσεις του SWIFT (Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication).....	146
7.1.6 Απαγορεύσεις και κυρώσεις που επέβαλαν κάποιες χώρες στο Ιράν	146
7.2 Κυρώσεις κατά της Ινδίας.....	147
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	149
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	151

Κατάλογος εικόνων

εικόνα 1: πυρηνική σχάση (garyfallidouy.org)	17
εικόνα 2: μοντέλο σχάσης υγρής σταγόνας (slydeplayer.gr).....	18
εικόνα 3: πυρηνικός αντιδραστήρας(ti-einai.gr)	22
εικόνα 4: πυρηνικός αντιδραστήρας του Δημόκριτου(maxmag.gr 2012)	23
εικόνα 5: χάρτης του ραδιενεργού ίχνους των ανατολικών ουραλίων: περιοχή μολυσμένη από την καταστροφή του Kyshtym (wikipedia.org, Kyshtym disaster)	55
εικόνα 6: Η καταστροφή του Τσερνόμπιλ (Left.gr 2023).....	59
εικόνα 7:εικόνα από την έκρηξη στο εργοστάσιο (tovima.gr 2025)	64
εικόνα 8: χάρτης που δείχνει τις περιοχές που αναπτύσσεται το πυρηνικό πρόγραμμα του Ιράν (wikipedia.org)	87
εικόνα 9: Πυρηνικός σταθμός Ακκούγιου (Wikipedia).....	101
εικόνα 10: Πύραυλος ICBBMs (defensenews.com 2017)	103
εικόνα 11: Πύραυλος SLBMs (tanea.gr, 2021).....	104
εικόνα 12: πυρηνικό αεροσκάφος (defence-point, 2024)	104
εικόνα 13: Πυρηνικός σταθμός Vogtle 3 (world nuclear news.org ,2023).....	111
εικόνα 14: πυρηνικός σταθμός 4ης γενιάς (comereporta..gr)	121
εικόνα 15: εξωτερική μορφή του αντιδραστήρα πυρηνικής σύντηξης JT-60SA (ERTnews 2023).....	123
εικόνα 16: εσωτερική μορφή του αντιδραστήρα JT-60SA(ERTnews,2023)	124
εικόνα 17:πυρηνικός αντιδραστήρας ταχέων νετρονίων (naftemporiki.gr 2017).....	128

Κατάλογος Συντομογραφιών

ΔΟΑΕ: Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (IAEA - International Atomic Energy Agency)

NPT: Συνθήκη για τη Μη Διάδοση των Πυρηνικών Όπλων (Non-Proliferation Treaty)

CTBT: Συνολική Συνθήκη Απαγόρευσης Πυρηνικών Δοκιμών (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty)

IFNEC: Διεθνές Πλαίσιο Συνεργασίας για την Πυρηνική Ενέργεια (International Framework for Nuclear Energy Cooperation)

WANO: Παγκόσμια Ένωση Πυρηνικών Χειριστών (World Association of Nuclear Operators)

EURATOM: Ευρωπαϊκή Κοινότητα Ατομικής Ενέργειας (European Atomic Energy Community)

DOE: Υπουργείο Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών (Department of Energy)

U.S NRC: Επιτροπή Πυρηνικής Ρύθμισης των ΗΠΑ (United States Nuclear Regulatory Commission)

ASN: Αρχή Πυρηνικής Ασφάλειας Γαλλίας (Autorité de sûreté nucléaire)

CTBTO: Οργανισμός Συνθήκης για την Απαγόρευση των Πυρηνικών Δοκιμών (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization)

Εισαγωγή

Η πυρηνική ενέργεια αποτελεί μία από τις σημαντικότερες και συνάμα πιο αμφιλεγόμενες τεχνολογίες των 20ού και 21ου αιώνα. Από την ανακάλυψη της πυρηνικής σχάσης μέχρι σήμερα, έχει διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο τόσο στην πρόοδο της σύγχρονης κοινωνίας όσο και στη διαμόρφωση των διεθνών σχέσεων. Η ενέργεια που εκλύεται από τον πυρήνα του ατόμου μπορεί να παράγει τεράστιες ποσότητες ισχύος, ικανές να τροφοδοτήσουν βιομηχανίες και ολόκληρες πόλεις, αλλά και να προκαλέσει μαζική καταστροφή μέσω της χρήσης πυρηνικών όπλων.

Η διαχείριση και αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας συνοδεύονται από σύνθετες και πολυδιάστατες προκλήσεις, που εκτείνονται πέρα από την τεχνολογική και οικονομική διάσταση, αγγίζοντας κρίσιμους τομείς όπως η γεωπολιτική και η διεθνής διπλωματία. Τα κράτη που διαθέτουν πυρηνική τεχνολογία αποκτούν ένα στρατηγικής σημασίας εργαλείο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για ειρηνικούς σκοπούς όσο και για στρατιωτική ισχύ. Η διάδοση της πυρηνικής τεχνολογίας, οι διεθνείς συνθήκες περί μη διάδοσης των πυρηνικών όπλων, οι στρατηγικές συμμαχίες και οι οικονομικές κυρώσεις αποτελούν ενδεικτικές πτυχές που αναδεικνύουν τη σημασία της πυρηνικής ενέργειας στη διεθνή πολιτική σκηνή.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση του ρόλου της πυρηνικής ενέργειας ως μέσου άσκησης διεθνούς πολιτικής. Ειδικότερα, εξετάζονται οι τρόποι με τους οποίους η πυρηνική ενέργεια επηρεάζει τις διεθνείς σχέσεις, μέσω της ενεργειακής ασφάλειας, της διπλωματικής επιρροής, των γεωπολιτικών συμμαχιών, καθώς και μέσω οικονομικών κινήτρων και κυρώσεων. Μέσα από ιστορικά και σύγχρονα παραδείγματα, αναλύονται οι μηχανισμοί με τους οποίους τα κράτη αξιοποιούν την πυρηνική τεχνολογία για την ενίσχυση της διεθνούς τους θέσης και την προώθηση των στρατηγικών τους συμφερόντων.

Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η πυρηνική ενέργεια επηρεάζει τη διεθνή πολιτική είναι ζωτικής σημασίας, ιδίως σε μια εποχή κατά την οποία η ενεργειακή ασφάλεια και η αποτροπή της διάδοσης των πυρηνικών όπλων

αποτελούν θεμελιώδεις πυλώνες της παγκόσμιας σταθερότητας. Η εργασία αυτή φιλοδοξεί να συμβάλει στην εις βάθος κατανόηση αυτών των σύνθετων ζητημάτων και να προσφέρει νέες οπτικές για τη μελέτη της διεθνούς πολιτικής στην πυρηνική εποχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ

1.1 Ορισμός

Η πυρηνική ενέργεια προέρχεται από την ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια πυρηνικών αντιδράσεων, είτε μέσω της πυρηνικής σχάσης είτε μέσω της πυρηνικής σύντηξης. Η πυρηνική σχάση λαμβάνει χώρα όταν ένας βαρύς ατομικός πυρήνας διασπάται σε δύο ή περισσότερους ελαφρύτερους πυρήνες, απελευθερώνοντας ταυτόχρονα ενέργεια, νετρόνια και άλλα προϊόντα διάσπασης. Αντιθέτως, η πυρηνική σύντηξη περιλαμβάνει την ένωση δύο ελαφρών πυρήνων για τον σχηματισμό ενός βαρύτερου, συνοδευόμενη επίσης από την έκλυση σημαντικής ποσότητας ενέργειας.

Η ενέργεια που παράγεται μέσω αυτών των διεργασιών χρησιμοποιείται κυρίως σε πυρηνικούς σταθμούς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, προσφέροντας μια ισχυρή και σταθερή πηγή ενέργειας με σχετικά χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα [\[1\]](#).

1.2 Πώς παράγεται η πυρηνική ενέργεια

Η πυρηνική ενέργεια αποτελεί μορφή ενέργειας που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια πυρηνικών αντιδράσεων, δηλαδή διεργασιών που περιλαμβάνουν τον μετασχηματισμό των ατομικών πυρήνων. Η ενέργεια αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί σε πλήθος πρακτικών εφαρμογών, όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ιατρική απεικόνιση και διάγνωση, καθώς και διάφορες βιομηχανικές διεργασίες. Για την κατανόηση της φύσης και της σημασίας της πυρηνικής ενέργειας, είναι απαραίτητο να εμβαθύνουμε στις δύο βασικές διεργασίες μέσω των οποίων αυτή παράγεται: την πυρηνική σχάση και την πυρηνική σύντηξη [\[1\]](#).

1.2.1 Πυρηνική Σχάση, μοντέλο σχάσης της υγρής σταγόνας

Η πυρηνική σχάση είναι η διαδικασία κατά την οποία ένας βαρύς και ασταθής ατομικός πυρήνας διασπάται σε δύο ή περισσότερους πυρήνες μικρότερης μάζας, με ταυτόχρονη απελευθέρωση μεγάλης ποσότητας ενέργειας. Κατά τη σχάση, εκλύονται επίσης νετρόνια και άλλα προϊόντα διάσπασης. Η διαδικασία αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς αποτελεί τη βάση για την παραγωγή

ενέργειας σε πυρηνικούς αντιδραστήρες και, παράλληλα, είναι θεμελιώδης για τη λειτουργία των πυρηνικών όπλων.

Η ανακάλυψη της πυρηνικής σχάσης έγινε στις 19 Δεκεμβρίου 1938 στο Βερολίνο, από τους Γερμανούς χημικούς Otto Hahn και Fritz Strassmann. Τον Ιανουάριο του 1939, η Lise Meitner και ο ανιψιός της Otto Robert Frisch έδωσαν την πρώτη θεωρητική ερμηνεία του φαινομένου. Στη δεύτερη δημοσίευσή τους, τον Φεβρουάριο του ίδιου έτους, οι Hahn και Strassmann περιέγραψαν και την απελευθέρωση επιπλέον νετρονίων κατά τη διαδικασία της σχάσης [2].

Η βαθύτερη κατανόηση της σχάσης προϋποθέτει τη μελέτη της δομής και της σταθερότητας της πυρηνικής ύλης. Οι ατομικοί πυρήνες αποτελούνται από νουκλεόνια — δηλαδή πρωτόνια και νετρόνια — και το άθροισμα των μαζών τους αντιστοιχεί στον μαζικό αριθμό του πυρήνα. Ωστόσο, η πραγματική μάζα ενός δεσμευμένου πυρήνα είναι μικρότερη από το άθροισμα των μαζών των ελεύθερων νουκλεονίων, λόγω της ενέργειας δέσμησης [2].

Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη σχάση αξιοποιείται κυρίως σε πυρηνικούς σταθμούς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στους πυρηνικούς αντιδραστήρες, η αντίδραση σχάσης ελέγχεται με τη χρήση ράβδων ελέγχου, κατασκευασμένων από υλικά που απορροφούν νετρόνια, επιτρέποντας έτσι τη ρύθμιση ή και τη διακοπή της αλυσιδωτής αντίδρασης. Η θερμότητα που παράγεται κατά τη σχάση θερμαίνει νερό, παράγοντας ατμό ο οποίος κινεί στρόβιλους και παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

Η σχάση μπορεί να είναι αυθόρμητη ή επαγόμενη. Η αυθόρμητη σχάση συμβαίνει χωρίς εξωτερική παρέμβαση, όταν ένας ασταθής πυρήνας διασπάται για να επιτύχει ενεργειακά ευνοϊκότερη κατάσταση. Είναι ωστόσο σπάνιο φαινόμενο, καθώς προϋποθέτει υπέρβαση σημαντικού δυναμικού φραγμού. Στην επαγόμενη σχάση, ο πυρήνας διεγείρεται από την απορρόφηση ενός εξωτερικού σωματιδίου — συνήθως ενός νετρονίου — οδηγούμενος σε διάσπαση.

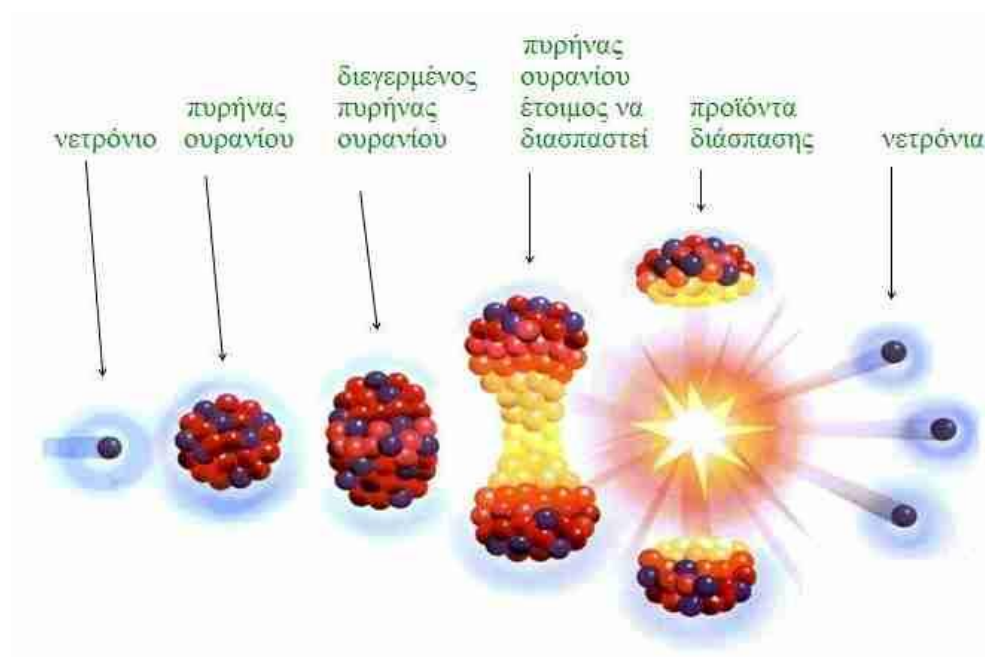
Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί το ισότοπο ουράνιο-235 (^{235}U), το οποίο, όταν απορροφά ένα θερμικό νετρόνιο, μετατρέπεται στον διεγερμένο πυρήνα ουρανίου-236 ($^{236}\text{U}^*$). Το αστερίσκο υποδηλώνει την υψηλή ενεργειακή κατάσταση του πυρήνα. Η ενέργεια που προστίθεται μέσω του νετρονίου

διαταράσσει την ευστάθεια του πυρήνα, προκαλώντας τη διάσπασή του σε δύο ελαφρύτερους πυρήνες και στην απελευθέρωση πρόσθετων νετρονίων [3].

Η ενέργεια που απελευθερώνεται από μία τέτοια σχάση ανέρχεται περίπου στα 180 MeV. Τα νετρόνια που εκλύονται άμεσα κατά τη σχάση ονομάζονται άμεσα νετρόνια, ενώ εκείνα που απελευθερώνονται σε μεταγενέστερο στάδιο χαρακτηρίζονται ως καθυστερημένα νετρόνια [3].

Η ισοδυναμία μάζας και ενέργειας, όπως εκφράστηκε από τον Einstein με τη διάσημη εξίσωση $E = mc^2$, προβλέπει ότι κάθε σώμα διαθέτει ενέργεια λόγω της μάζας του. Η ενέργεια ηρεμίας είναι η ενέργεια που αντιστοιχεί στη μάζα ενός σώματος όταν αυτό βρίσκεται σε ακινησία. Η συνολική ενέργεια περιλαμβάνει την ενέργεια ηρεμίας και την κινητική ενέργεια. Η εξίσωση $E = mc^2$ εκφράζει ότι η μάζα και η ενέργεια είναι ισοδύναμες και μπορεί η μία να μετατραπεί στην άλλη [4].

Κατά τη σχάση πυρήνων όπως του ουρανίου-235, τα προϊόντα της διάσπασης — τα λεγόμενα θραύσματα σχάσης — έχουν συνολική μάζα μικρότερη από αυτήν του αρχικού πυρήνα. Η διαφορά μάζας ονομάζεται έλλειμμα μάζας και αντιστοιχεί σε ενέργεια που απελευθερώνεται κυρίως ως κινητική ενέργεια των θραυσμάτων, αλλά και με τη μορφή νετρονίων και ακτινοβολίας γ [3].



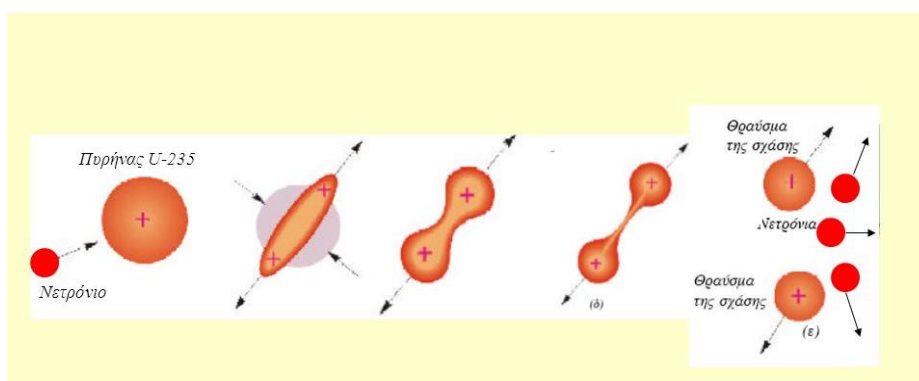
εικόνα 1:πυρηνική σχάση (garyfallidoy.org)

Η τυπική αντίδραση σχάσης είναι:



1.2.1.1 Μοντέλο σχάσης της υγρής σταγόνας

Το μοντέλο της υγρής σταγόνας αποτέλεσε ιστορικά ένα από τα θεμελιώδη θεωρητικά εργαλεία για την κατανόηση της πυρηνικής σχάσης. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, ο ατομικός πυρήνας παρομοιάζεται με μια σταγόνα υγρού, στην οποία ασκούνται δυνάμεις παρόμοιες με εκείνες που επικρατούν στο εσωτερικό και την επιφάνεια ενός ρευστού συστήματος. Οι νουκλεόνες (πρωτόνια και νετρόνια) συγκρατούνται μεταξύ τους από την ισχυρή πυρηνική δύναμη, η οποία αντιστοιχεί, κατά αναλογία, στην επιφανειακή τάση της σταγόνας.



εικόνα 2:μοντέλο σχάσης υγρής σταγόνας (slydeplayer.gr)

Όταν ένας βαρύς πυρήνας, όπως το ουράνιο-235 (${}^{235}\text{U}$), απορροφά ένα θερμικό νετρόνιο, μετατρέπεται σε έναν σύνθετο και διεγερμένο πυρήνα (${}^{236}\text{U}^*$). Η απορρόφηση αυτή προσθέτει στο σύστημα κινητική ενέργεια (λόγω του νετρονίου) και ενέργεια δέσμευσης, με αποτέλεσμα την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του πυρήνα. Η αύξηση αυτή προκαλεί μηχανικές ταλαντώσεις στο εσωτερικό του, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε παραμόρφωση του αρχικά σφαιρικού του σχήματος.

Εάν η ενέργεια που έχει αποκτηθεί από τον πυρήνα είναι μικρότερη από την ενέργεια ενεργοποίησης της σχάσης, τότε το σύστημα τείνει να επιστρέψει στην αρχική του μορφή, αποβάλλοντας την πλεονάζουσα ενέργεια μέσω εκπομπής ακτινοβολίας. Αντιθέτως, όταν οι ταλαντώσεις ξεπεράσουν το κρίσιμο όριο, ο πυρήνας παραμορφώνεται σε επιμήκη μορφή, και εμφανίζονται δύο διακριτοί

πόλοι μάζας. Σε αυτό το στάδιο, οι απωστικές δυνάμεις Coulomb μεταξύ των πρωτονίων υπερνικούν τη συνοχή του συστήματος, οδηγώντας σε οριστική διάσπαση του πυρήνα σε δύο ελαφρύτερους.

Η διαδικασία ολοκληρώνεται μέσα σε εξαιρετικά μικρό χρονικό διάστημα, της τάξης των 10^{-15} δευτερολέπτων. Τα δύο θραύσματα που προκύπτουν είναι νέοι σφαιρικοί πυρήνες, οι οποίοι απωθούνται μεταξύ τους εξαιτίας των ηλεκτροστατικών δυνάμεων. Η απελευθερούμενη ενέργεια προέρχεται από την περίσσεια ενέργειας δέσμευσης που υπήρχε στον αρχικό πυρήνα και μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των θραυσμάτων, καθώς και σε ενέργεια εκπεμπόμενων νετρονίων και ακτινοβολίας.

Το μοντέλο της υγρής σταγόνας προσφέρει μια απλοποιημένη αλλά ιδιαίτερα χρήσιμη ερμηνεία της σχάσης. Υποθέτει ομοιόμορφη κατανομή μάζας και πυκνότητας σε όλο τον πυρήνα και βασίζεται σε κλασικές φυσικές αναλογίες, παραβλέποντας την κβαντομηχανική φύση των νουκλεονίων. Παρά τους περιορισμούς του, εξακολουθεί να αποτελεί πολύτιμο εργαλείο για την ποιοτική κατανόηση των μηχανισμών της πυρηνικής σχάσης και την ερμηνεία πειραματικών δεδομένων.

1.2.2 Πυρηνική σύντηξη

Ορισμός και φυσικό παράδειγμα πυρηνικής σύντηξης

Η πυρηνική σύντηξη είναι η διαδικασία κατά την οποία δύο ελαφροί ατομικοί πυρήνες ενώνονται για να σχηματίσουν έναν βαρύτερο πυρήνα, απελευθερώνοντας ενέργεια στη διάρκεια της αντίδρασης. Η πιο γνωστή μορφή σύντηξης λαμβάνει χώρα στον Ήλιο, όπου πυρήνες υδρογόνου συντήκονται σχηματίζοντας ήλιο και απελευθερώνοντας τεράστια ποσά ενέργειας.

Προκλήσεις της ελεγχόμενης σύντηξης στη Γη

Η επίτευξη ελεγχόμενης σύντηξης στη Γη για παραγωγή ενέργειας αποτελεί σημαντική επιστημονική πρόκληση, κυρίως λόγω των ακραίων φυσικών συνθηκών που απαιτούνται — όπως εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις — προκειμένου να ξεπεραστούν οι απωστικές δυνάμεις μεταξύ των θετικά φορτισμένων πυρήνων.

Πειραματικά σχέδια και τεχνολογικές εφαρμογές

Σε διεθνές επίπεδο, βρίσκονται σε εξέλιξη σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες για την ανάπτυξη αντιδραστήρων πυρηνικής σύντηξης, με χαρακτηριστικά παραδείγματα τα σχέδια tokamak και stellarator. Αν η τεχνολογία αυτή αξιοποιηθεί με επιτυχία, θα μπορούσε να προσφέρει μια σχεδόν απεριόριστη, καθαρή και ασφαλή ενεργειακή πηγή, καθώς βασίζεται σε άφθονα ισότοπα του υδρογόνου και παράγει ελάχιστα και μη μακρόβια ραδιενεργά απόβλητα.

Καύσιμα σύντηξης και η φυσική της αντίδρασης

Το βασικό καύσιμο για την πυρηνική σύντηξη είναι τα ισότοπα του υδρογόνου, με κυριότερα το δευτέριο (^2H) και το τρίτιο (^3H). Αυτά τα ισότοπα είναι ευρέως διαθέσιμα, κυρίως στο θαλασσινό νερό, και μπορούν να εξαχθούν χωρίς σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Όταν οι πυρήνες δευτερίου και τριτίου πλησιάσουν επαρκώς, υπερνικούν την ηλεκτροστατική τους άπωση και συντήκονται, σχηματίζοντας έναν πυρήνα ηλίου και απελευθερώνοντας ενέργεια [6].

1.2.3 Πυρηνική ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Οι πυρηνικοί σταθμοί αποτελούν βασικό πυλώνα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές χώρες. Η διαδικασία βασίζεται συνήθως στη χρήση ράβδων καυσίμου ουρανίου, οι οποίες υφίστανται ελεγχόμενες αντιδράσεις σχάσης. Η θερμότητα που απελευθερώνεται από αυτές τις αντιδράσεις χρησιμοποιείται για τη θέρμανση νερού και την παραγωγή υπερθερμού ατμού. Ο ατμός αυτός κινεί στρόβιλους που είναι συνδεδεμένοι με ηλεκτρογεννήτριες, με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πλεονεκτήματα της πυρηνικής ενέργειας

Η χρήση πυρηνικής ενέργειας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Ένα από τα κυριότερα είναι ο χαμηλός περιβαλλοντικός αντίκτυπος, καθώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω σχάσης συνοδεύεται από ελάχιστες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα όπως ο λιγνίτης και το πετρέλαιο.

Προκλήσεις και προβληματισμοί

Παρά τα οφέλη της, η πυρηνική ενέργεια συνοδεύεται και από σημαντικές προκλήσεις. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται οι κίνδυνοι από πυρηνικά ατυχήματα, η διαχείριση των ραδιενεργών αποβλήτων, καθώς και οι ανησυχίες για τη διάδοση πυρηνικών όπλων, ιδιαίτερα σε γεωπολιτικά ευαίσθητες περιοχές.

1.3 Έλλειμμα μάζας – Ενέργεια σύνδεσης

Το έλλειμμα μάζας στους ατομικούς πυρήνες

Όλοι οι ατομικοί πυρήνες παρουσιάζουν έλλειμμα μάζας, δηλαδή η συνολική μάζα τους είναι μικρότερη από το άθροισμα των μαζών των επιμέρους νουκλεονίων (πρωτονίων και νετρονίων) όταν αυτά βρίσκονται σε ελεύθερη κατάσταση. Με άλλα λόγια, κάθε νουκλεόνιο έχει μικρότερη μάζα όταν αποτελεί μέρος πυρήνα απ' ό,τι όταν είναι απομονωμένο.

Η φυσική εξήγηση του ελλείμματος

Έστω ότι Α νουκλεόνια συνθέτουν έναν πυρήνα. Τα νουκλεόνια αυτά, όταν συγκροτούν τον πυρήνα, βρίσκονται σε ευσταθέστερη ενεργειακή κατάσταση από εκείνη κατά την οποία βρίσκονται απομονωμένα και σε άπειρη απόσταση μεταξύ τους. Η ευσταθέστερη κατάσταση αντιστοιχεί σε χαμηλότερη ενέργεια. Επομένως, σύμφωνα με την αρχή ισοδυναμίας μάζας-ενέργειας του Einstein, η μάζα του πυρήνα είναι μικρότερη από το άθροισμα των μαζών των ελεύθερων νουκλεονίων που τον αποτελούν.

Η σχέση του ελλείμματος με την ενέργεια σύνδεσης

Η διαφορά αυτή στη μάζα ονομάζεται έλλειμμα μάζας (Δm) και αντιστοιχεί σε διαφορά ενέργειας, η οποία υπολογίζεται με τη γνωστή εξίσωση:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

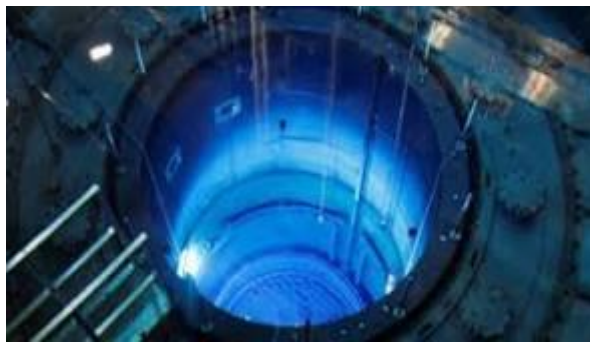
Η ισοδύναμη ενέργεια που αντιστοιχεί στο έλλειμμα μάζας ονομάζεται ενέργεια σύνδεσης (E). Πρόκειται για την ελάχιστη ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για να διαχωριστούν πλήρως τα πρωτόνια και τα νετρόνια ενός πυρήνα, έτσι ώστε να πάψουν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

1.4 Πυρηνικός Αντιδραστήρας

1.4.1 Ορισμός

Η συσκευή που χρησιμοποιεί μια ελεγχόμενη αντίδραση πυρηνικής σχάσης για την παραγωγή ενέργειας ονομάζεται πυρηνικός αντιδραστήρας. Μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα σύστημα, ή αλλιώς μια «μεγάλη δεξαμενή», το οποίο απελευθερώνει θερμότητα όταν το πυρηνικό καύσιμο υφίσταται σχάση.

Κατά τη διαδικασία αυτή, οι πυρήνες των ατόμων του καυσίμου διασπώνται υπό συγκεκριμένες συνθήκες, απελευθερώνοντας νετρόνια. Αυτά τα νετρόνια, με τη σειρά τους, προσκρούουν σε άλλους πυρήνες, προκαλώντας περαιτέρω διασπάσεις. Η αλληλουχία αυτή οδηγεί σε μια αλυσιδωτή αντίδραση, η οποία μπορεί να εξελιχθεί γεωμετρικά, δηλαδή με ταχύτατο πολλαπλασιασμό των αντιδράσεων, εφόσον δεν ελεγχθεί κατάλληλα [\[8\]](#).



εικόνα 3: πυρηνικός αντιδραστήρας(ti-einai.gr)

1.4.2 Λειτουργία του πυρηνικού αντιδραστήρα

Οι συμβατικοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί παράγουν ηλεκτρική ενέργεια αξιοποιώντας τη θερμότητα που προκύπτει από την καύση ορυκτών καυσίμων. Αντίστοιχα, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες μετατρέπουν την ενέργεια που εκλύεται από την ελεγχόμενη πυρηνική σχάση σε θερμική ενέργεια, η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Ο ρόλος των πυρηνικών αντιδραστήρων στην παραγωγή ενέργειας

Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες αποτελούν τον βασικό πυρήνα ενός πυρηνικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ελέγχουν τις αλυσιδωτές

αντιδράσεις σχάσης, κατά τις οποίες απελευθερώνεται θερμότητα. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για τη θέρμανση νερού και την παραγωγή υπέρθερμου ατμού, ο οποίος κινεί τουρμπίνες συνδεδεμένες με ηλεκτρογεννήτριες, οδηγώντας έτσι στην τελική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παγκόσμια παρουσία της πυρηνικής ενέργειας

Σήμερα, περισσότεροι από 400 εμπορικοί πυρηνικοί αντιδραστήρες βρίσκονται σε λειτουργία παγκοσμίως, εκ των οποίων 93 στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η πυρηνική ενέργεια συνεχίζει να συγκαταλέγεται μεταξύ των μεγαλύτερων πηγών αξιόπιστης, σταθερής και χαμηλών εκπομπών άνθρακα ηλεκτρικής ενέργειας. Συμβάλλει ουσιαστικά τόσο στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου όσο και στην κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών [\[8\]](#).



εικόνα 4: πυρηνικός αντιδραστήρας του Δημόκριτου(maxmag.gr 2012)

1.5 Ζητήματα Περιβαλλοντικού δικαίου

Αν και η πυρηνική ενέργεια θεωρείται μια πηγή χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, η χρήση της συνοδεύεται από σοβαρές περιβαλλοντικές και τεχνικές ανησυχίες. Η εξόρυξη, η επεξεργασία και η μεταφορά ουρανίου

επιβαρύνουν το περιβάλλον, ενώ η διάθεση των ραδιενεργών αποβλήτων συνιστά μακροπρόθεσμη πρόκληση για τη βιωσιμότητα του πυρηνικού κύκλου.

Επιπλέον, η πιθανότητα σοβαρών ατυχημάτων καθιστά επιτακτική την ανάγκη για αυστηρούς ελέγχους και βελτιωμένα πρότυπα ασφαλείας. Ιστορικά γεγονότα, όπως η καταστροφή του Τσερνόμπιλ (1986) και η πυρηνική κρίση της Fukushima Daiichi (2011), ανέδειξαν τα δομικά και λειτουργικά ελλείμματα σε θέματα ασφαλείας, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για ενισχυμένα μέτρα στον σχεδιασμό και τη λειτουργία των αντιδραστήρων [\[10\]](#).

Η συζήτηση γύρω από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της πυρηνικής ενέργειας παραμένει ενεργή και διχασμένη. Οι υποστηρικτές της τονίζουν τις δυνατότητές της ως καθαρότερη και πιο βιώσιμη εναλλακτική σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, επισημαίνοντας τις χαμηλές εκπομπές άνθρακα και τη συμβολή της στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Αντίθετα, οι επικριτές εκφράζουν έντονες ανησυχίες για τους πιθανούς κινδύνους και τις προκλήσεις που συνοδεύουν την πυρηνική τεχνολογία, όπως η ασφάλεια, τα ραδιενεργά απόβλητα και το ενδεχόμενο ατυχημάτων.

1.5.1 Πυρηνική ενέργεια και ραδιενεργά απόβλητα

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις στη χρήση της πυρηνικής ενέργειας είναι η διαχείριση και διάθεση των ραδιενεργών αποβλήτων. Η πυρηνική σχάση παράγει ραδιενεργά υποπροϊόντα, τα οποία μπορεί να παραμείνουν επικίνδυνα για χιλιάδες χρόνια. Η ασφαλής αποθήκευση και απομόνωση αυτών των αποβλήτων είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη περιβαλλοντικής ρύπανσης και την προστασία της δημόσιας υγείας [\[10\]](#).

Στρατηγικές διαχείρισης

Μεταξύ των βασικών στρατηγικών διαχείρισης περιλαμβάνονται οι βαθιές γεωλογικές αποθήκες, όπου τα απόβλητα αποθηκεύονται εντός σταθερών υπόγειων βραχωδών σχηματισμών. Η έρευνα και τεχνολογική ανάπτυξη σε αυτόν τον τομέα επικεντρώνεται στην αναζήτηση μακροπρόθεσμων, ασφαλών λύσεων που θα ελαχιστοποιούν τους κινδύνους που συνδέονται με τη ραδιενέργεια [\[10\]](#).

Πηγές και κατηγορίες ραδιενεργών αποβλήτων

Τα πυρηνικά απόβλητα αποτελούν υποπροϊόντα λειτουργίας πυρηνικών αντιδραστήρων, μονάδων επεξεργασίας καυσίμων, νοσοκομείων, αλλά και ερευνητικών εγκαταστάσεων. Παράγονται επίσης κατά τη διαδικασία παροπλισμού και αποσυναρμολόγησης πυρηνικών εγκαταστάσεων.

Τα ραδιενεργά απόβλητα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Απόβλητα υψηλής ραδιενέργειας, τα οποία περιλαμβάνουν κυρίως αναλωμένο καύσιμο που αφαιρείται από τους αντιδραστήρες μετά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Απόβλητα χαμηλής ραδιενέργειας, τα οποία προέρχονται κυρίως από ιατρικές, βιομηχανικές και εμπορικές χρήσεις ραδιενεργών υλικών [\[10\]](#).

1.5.2 Πυρηνική ενέργεια και παγκόσμια ασφάλεια

Η εξάπλωση της πυρηνικής τεχνολογίας συνοδεύεται από έντονες ανησυχίες για την διάδοση πυρηνικών όπλων και την πιθανή κατάχρηση πυρηνικών υλικών για στρατιωτικούς σκοπούς. Η διεθνής κοινότητα έχει θεσπίσει συμφωνίες μη διάδοσης και εφαρμόζει διασφαλίσεις για την παρακολούθηση της χρήσης πυρηνικών τεχνολογιών. Ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ) διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διασφάλιση της ειρηνικής χρήσης της πυρηνικής ενέργειας.

Διπλωματικές πρωτοβουλίες και διεθνείς μηχανισμοί

Η διεθνής προσπάθεια επικεντρώνεται στην προώθηση ειρηνικών εφαρμογών της πυρηνικής ενέργειας και στην πρόληψη της στρατιωτικής της εκτροπής. Η αντιμετώπιση των προκλήσεων που αφορούν την παγκόσμια ασφάλεια προϋποθέτει την υιοθέτηση πολυμερών διπλωματικών προσεγγίσεων και τη δημιουργία κοινών θεσμικών πλαισίων. Είναι κρίσιμο να αναγνωριστεί ότι η ασφάλεια της πυρηνικής τεχνολογίας δεν αποτελεί μόνο εθνικό ζήτημα, αλλά είναι κυρίως διεθνές καθήκον που απαιτεί συλλογική ευθύνη [\[10\]](#).

Η σημασία της συνεργασίας και των διεθνών προτύπων

Η επιτυχής διαχείριση των θεμάτων αυτών απαιτεί διεθνή συντονισμό, ανταλλαγή πληροφοριών και την εφαρμογή κοινών προτύπων ασφαλείας. Μέσω της διπλωματίας και της πολυμερούς συνεργασίας, μπορούν να

δημιουργηθούν μηχανισμοί πρόληψης της διάδοσης πυρηνικών όπλων, ενίσχυσης της ασφαλούς χρήσης της τεχνολογίας και προστασίας των παγκόσμιων συμφερόντων [\[10\]](#).

1.5.3 Πρόοδοι στην Πυρηνική Τεχνολογία

Η συνεχιζόμενη έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της πυρηνικής τεχνολογίας στοχεύει στην αντιμετώπιση των υφιστάμενων προκλήσεων, ενισχύοντας την ασφάλεια, την αποδοτικότητα και τη βιωσιμότητα της πυρηνικής ενέργειας. Οι προηγμένοι σχεδιασμοί αντιδραστήρων, όπως οι Μικροί Αρθρωτοί Αντιδραστήρες (SMRs) και οι αντιδραστήρες τέταρτης γενιάς (Generation IV), προσφέρουν σημαντικές βελτιώσεις στα χαρακτηριστικά ασφαλείας, περιορίζουν την παραγωγή ραδιενεργών αποβλήτων και παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία ανάπτυξης [\[10\]](#).

Επιστημονική έρευνα και τεχνολογική καινοτομία

Παράλληλα, η πρόοδος στην επιστήμη των υλικών, στην πυρηνική μηχανική, καθώς και στην τεχνολογία σύντηξης, συμβάλλει διαρκώς στην εξέλιξη του τομέα. Οι εξελίξεις αυτές ενισχύουν τη δυνατότητα της πυρηνικής ενέργειας να αποτελέσει μια βιώσιμη, μακροπρόθεσμη ενεργειακή λύση, μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και ενισχύοντας την ενεργειακή ασφάλεια.

Η πυρηνική ενέργεια αποτελεί ένα πολύπλευρο και σύνθετο ζήτημα, με επιπτώσεις που εκτείνονται στην παραγωγή ενέργειας, το περιβάλλον, την παγκόσμια ασφάλεια και την τεχνολογική πρόοδο. Η αξιοποίηση των πυρηνικών αντιδράσεων για πρακτικούς σκοπούς προσφέρει τη δυνατότητα για μια αξιόπιστη και σταθερή πηγή ενέργειας, ικανή να συμβάλει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και στη διατήρηση της ενεργειακής ασφάλειας.

Ωστόσο, παραμένουν σημαντικές προκλήσεις, όπως η διαχείριση της πυρηνικής ασφάλειας, η διάθεση ραδιενεργών αποβλήτων, και η πρόληψη της διάδοσης πυρηνικών όπλων. Η προσεκτική και υπεύθυνη χρήση της πυρηνικής τεχνολογίας, σε συνδυασμό με διαρκή επιστημονική έρευνα και διεθνή συνεργασία, αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για τη βιώσιμη ανάπτυξη της προς όφελος τόσο των σημερινών όσο και των μελλοντικών γενεών.

1.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας

Η χρήση της πυρηνικής ενέργειας συνοδεύεται από σημαντικά πλεονεκτήματα, αλλά και σημαντικές προκλήσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά θετικά και αρνητικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την αξιοποίησή της στον ενεργειακό τομέα [\[12\]](#).

Πλεονεκτήματα:

- 1) Χαμηλές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου: Οι πυρηνικοί σταθμοί παράγουν πολύ χαμηλά επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου συγκριτικά με τους σταθμούς που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα. Αυτό συμβάλλει ουσιαστικά στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και στην επίτευξη στόχων βιώσιμης ανάπτυξης.
- 2) Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα: Η πυρηνική ενέργεια παρουσιάζει εξαιρετικά υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, γεγονός που επιτρέπει την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας από μικρές ποσότητες καυσίμου. Αυτό την καθιστά ιδιαίτερα αποδοτική ως προς τη χρήση πόρων, σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα.
- 3) Αξιοπιστία: Οι πυρηνικοί σταθμοί είναι ικανοί να λειτουργούν αδιάκοπα για μεγάλες χρονικές περιόδους, χωρίς να επηρεάζονται από καιρικές συνθήκες ή διακυμάνσεις στην παροχή καυσίμου. Αυτή η δυνατότητα εξασφαλίζει μια σταθερή και αξιόπιστη παροχή ενέργειας.
- 4) Ισχύς βασικού φορτίου: Οι πυρηνικοί σταθμοί προσφέρονται για την παραγωγή ισχύος βασικού φορτίου, δηλαδή της ελάχιστης απαιτούμενης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να παρέχεται διαρκώς στο ηλεκτρικό δίκτυο. Σε αντίθεση με άλλες μορφές ενέργειας που παρουσιάζουν διακυμάνσεις (όπως τα αιολικά ή φωτοβολταϊκά συστήματα), η πυρηνική ενέργεια προσφέρει σταθερή παραγωγή και είναι ιδανική για τη διατήρηση ενεργειακής συνέχειας στο δίκτυο.
- 5) Ενεργειακή Ασφάλεια και Ανεξαρτησία: Η πυρηνική ενέργεια ενισχύει την ενεργειακή ασφάλεια, μειώνοντας την εξάρτηση από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Οι πυρηνικοί σταθμοί έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα

χωρίς ανεφοδιασμό, εξασφαλίζοντας σταθερή και ανεπηρέαστη παροχή ενέργειας, ανεξαρτήτως εξωτερικών παραγόντων όπως οι καιρικές συνθήκες ή η γεωπολιτική αστάθεια. Χώρες όπως ο Καναδάς έχουν επιτύχει ενεργειακή αυτονομία αξιοποιώντας ουράνιο-235 σε συνδυασμό με βαρύ νερό στους αντιδραστήρες τους [12]. Επιπλέον, η χρήση ουρανίου-238 (U-238) σε ορισμένους τύπους αντιδραστήρων εξαλείφει την ανάγκη για εμπλουτισμό καυσίμου, γεγονός που μειώνει την εξάρτηση από προμηθευτές εμπλουτισμένου ουρανίου, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες ή η Ρωσία, και προσφέρει μεγαλύτερο εθνικό έλεγχο στον ενεργειακό εφοδιασμό [12].

- 6) Τεχνολογικές εξελίξεις και καινοτομία: Η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας οδηγεί σε σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις, όπως η ανάπτυξη βελτιωμένων σχεδίων αντιδραστήρων, πιο αποτελεσματικών τεχνικών διαχείρισης αποβλήτων, και συστημάτων ενισχυμένης ασφάλειας. Αυτή η καινοτομία διαμορφώνει τις βάσεις για πιο βιώσιμες και ασφαλείς εφαρμογές της πυρηνικής ενέργειας στο μέλλον.
- 7) Απόδοση νερού: Οι πυρηνικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής εμφανίζουν σχετικά χαμηλή κατανάλωση νερού σε σύγκριση με άλλες μορφές θερμικής παραγωγής ενέργειας. Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Πυρηνικής Ενέργειας, η μέση κατανάλωση νερού ανέρχεται περίπου σε 720 γαλόνια ανά παραγόμενη μεγαβατώρα [11]. Η αυξημένη αποδοτικότητα στη χρήση υδάτινων πόρων καθιστά την πυρηνική ενέργεια ιδιαίτερα σημαντική για περιοχές με περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού.

Μειονεκτήματα:

- 1) Κίνδυνος πυρηνικών ατυχημάτων: Η πιθανότητα καταστροφικών ατυχημάτων, όπως αυτά του Τσερνόμπιλ (1986) και της Fukushima Daiichi (2011), ενέχει σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και την οικονομία. Παρότι τα σύγχρονα πρότυπα ασφαλείας είναι αυστηρότερα, ο παράγοντας του ανθρώπινου λάθους ή φυσικών καταστροφών δεν μπορεί να εξαλειφθεί πλήρως.
- 2) Ραδιενεργά απόβλητα και διαχείριση: Η παραγωγή πυρηνικής ενέργειας συνοδεύεται από ραδιενεργά απόβλητα που παραμένουν

επικίνδυνα για χιλιάδες χρόνια. Η ασφαλής αποθήκευση και μακροπρόθεσμη απομόνωση αυτών των αποβλήτων αποτελεί μία από τις σημαντικότερες τεχνικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις για τον κλάδο.

- 3) Κίνδυνος διάδοσης πυρηνικών όπλων: Η πρόσβαση σε πυρηνική τεχνολογία και διασπώμενα υλικά δημιουργεί ανησυχίες για την εκτροπή σε στρατιωτικές εφαρμογές. Ο κίνδυνος διάδοσης πυρηνικών όπλων καθιστά αναγκαία τη διαρκή διεθνή επιτήρηση και την ενίσχυση των μηχανισμών ελέγχου.
- 4) Υψηλό αρχικό κόστος: Η κατασκευή πυρηνικών σταθμών απαιτεί ιδιαίτερα υψηλές αρχικές επενδύσεις, ενώ τα έργα συχνά αντιμετωπίζουν καθυστερήσεις και υπερβάσεις κόστους. Συγκριτικά με πολλές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το κόστος ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος είναι υψηλότερο και η απόσβεση κεφαλαίου πιο μακροπρόθεσμη.
- 5) Περιορισμένη παροχή καυσίμου: Αν και το ουράνιο είναι σήμερα διαθέσιμο σε επαρκείς ποσότητες, υπάρχουν ανησυχίες για τη μακροπρόθεσμη επάρκειά του καθώς και για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης και επεξεργασίας του. Η εξάρτηση από περιορισμένους φυσικούς πόρους δημιουργεί αβεβαιότητες για το μέλλον του πυρηνικού καυσίμου.
- 6) Προκλήσεις παροπλισμού: Οι πυρηνικοί σταθμοί έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής (συνήθως 40–60 έτη), και η διαδικασία παροπλισμού τους παρουσιάζει τεχνικές, οικονομικές και ρυθμιστικές δυσκολίες. Η αποσυναρμολόγηση των εγκαταστάσεων και η αποκατάσταση του χώρου απαιτούν εξειδικευμένες διαδικασίες και σημαντικό κόστος [\[12\]](#).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Ιστορική αναδρομή του θεσμικού πλαισίου για την Πυρηνική Ενέργεια: Από την προώθηση στον περιορισμό

Η ιστορική εξέλιξη του θεσμικού πλαισίου για την πυρηνική ενέργεια ακολουθεί μια πορεία που ξεκινά από την ενθουσιώδη προώθηση της τεχνολογίας και καταλήγει σε ένα καθεστώς αυξημένων ρυθμίσεων και περιορισμών. Η πορεία αυτή διαμορφώθηκε από σημαντικά ιστορικά ορόσημα, τεχνολογικές εξελίξεις και γεωπολιτικές συγκυρίες.

Η κατανόηση του πλαισίου αυτού είναι καθοριστική για την ερμηνεία της σημερινής μορφής της παγκόσμιας διακυβέρνησης στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας, καθώς αποκαλύπτει τους λόγους για τους οποίους αναδύθηκαν μηχανισμοί ελέγχου, διεθνείς συμφωνίες και θεσμικά όργανα [\[13\]](#).

1. Πρώιμος ενθουσιασμός και προώθηση (δεκαετίες 1940-1950):

Η απαρχή του θεσμικού πλαισίου για την πυρηνική ενέργεια τοποθετείται χρονικά στο πρόγραμμα Μανχάταν, κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, μέσω του οποίου οι Ηνωμένες Πολιτείες ανέπτυξαν τα πρώτα πυρηνικά όπλα. Κατά την περίοδο αυτή, κυριαρχούσε η αντίληψη ότι η πυρηνική τεχνολογία θα αξιοποιούνταν κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς.

Ωστόσο, μετά τον πόλεμο, άρχισαν να διατυπώνονται σκέψεις και πρωτοβουλίες για την ειρηνική αξιοποίησή της. Σημαντικό ορόσημο αποτέλεσε η πρωτοβουλία *Atoms for Peace*, που ανακοινώθηκε το 1953 από τον Αμερικανό πρόεδρο Dwight D. Eisenhower και προωθήθηκε ευρύτερα τη δεκαετία του 1950. Η κίνηση αυτή επιδίωξε να ενισχύσει τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για ιατρικές και επιστημονικές εφαρμογές.

Στο πλαίσιο αυτό, το 1957 ιδρύθηκε ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ), με αποστολή την προώθηση της ειρηνικής χρήσης της πυρηνικής τεχνολογίας και, ταυτόχρονα, την αποτροπή της στρατιωτικής της αξιοποίησης.

2. Επέκταση της πυρηνικής ενέργειας (δεκαετίες 1960-1970):

Κατά τις δεκαετίες του 1960 και του 1970, πολλές χώρες ξεκίνησαν φιλόδοξα εθνικά προγράμματα πυρηνικής ενέργειας, ενθαρρύνοντας τη ραγδαία ανάπτυξη των πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Σε αυτό το πλαίσιο, το θεσμικό και ρυθμιστικό πλαίσιο διευρύνθηκε και ενισχύθηκε, με επίκεντρο:

- Τη δημιουργία εξειδικευμένων ρυθμιστικών φορέων για τον έλεγχο και την εποπτεία της πυρηνικής ασφάλειας.
- Την καθιέρωση διεθνών προτύπων ασφάλειας και λειτουργίας για τους πυρηνικούς σταθμούς.
- Τη διευκόλυνση της τεχνολογικής συνεργασίας μέσω διεθνών συμφωνιών και διακρατικών πρωτοβουλιών.

Καθοριστικής σημασίας υπήρξε η υιοθέτηση της Συνθήκης για τη Μη Διάδοση των Πυρηνικών Όπλων (NPT), η οποία τέθηκε σε ισχύ το 1970. Η NPT αποσκοπούσε:

- Στην αποτροπή της διάδοσης πυρηνικών όπλων σε χώρες που δεν τα κατείχαν.
- Στην προώθηση της ειρηνικής χρήσης της πυρηνικής ενέργειας μέσω της διεθνούς συνεργασίας.
- Στην προώθηση του αφοπλισμού, με τη σταδιακή μείωση των πυρηνικών οπλοστασίων των κρατών που τα διέθεταν.

Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από ισορροπία μεταξύ της προώθησης της τεχνολογίας και της εμφάνισης θεσμικών μηχανισμών ελέγχου, που αποσκοπούσαν στην ασφαλή και υπεύθυνη χρήση της πυρηνικής ενέργειας.

3. Chernobyl and the Paradigm Shift (1986):

Η πυρηνική καταστροφή του Τσερνόμπιλ το 1986 αποτέλεσε σημείο καμπής στην παγκόσμια προσέγγιση για την πυρηνική ενέργεια και το αντίστοιχο θεσμικό πλαίσιο. Το ατύχημα ανέδειξε τους ενδεχόμενους κινδύνους και τις καταστροφικές συνέπειες από τη λειτουργία πυρηνικών εγκαταστάσεων με ανεπαρκή πρότυπα ασφάλειας.

Τα κύρια αποτελέσματα της καταστροφής περιλάμβαναν:

- Αυστηροποίηση των ελέγχων και των κανονισμών ασφαλείας, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο.
- Επανεκτίμηση των πρωτοκόλλων ετοιμότητας έκτακτης ανάγκης, με έμφαση στην πρόληψη και την ταχεία απόκριση.
- Ενίσχυση της διαφάνειας και της δημόσιας επικοινωνίας, ώστε να αυξηθεί η εμπιστοσύνη του κοινού στις αρμόδιες αρχές.

Η τραγωδία του Τσερνόμπιλ είχε βαθύ αντίκτυπο στην παγκόσμια κοινή γνώμη, προκαλώντας σκεπτικισμό απέναντι στην πυρηνική τεχνολογία. Παράλληλα, πυροδότησε διεθνή διάλογο για τους περιορισμούς της πυρηνικής ενέργειας και ανέδειξε την ανάγκη για διεθνείς συντονισμένες δράσεις που να διασφαλίζουν την ασφάλεια και την υπευθυνότητα στη χρήση της [\[13\]](#).

4. Ενίσχυση της Ρυθμιστικής Εποπτείας και Διεθνούς Συνεργασίας (δεκαετίες 1990-2000):

Κατά τις δεκαετίες του 1990 και του 2000, παρατηρήθηκε μια σαφής μετατόπιση προς ενισχυμένη ρυθμιστική εποπτεία στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας, με έμφαση στη συστηματική διεθνή συνεργασία για την πυρηνική ασφάλεια.

Κύρια χαρακτηριστικά της περιόδου:

- Ίδρυση της Παγκόσμιας Ένωσης Πυρηνικών Χειριστών (WANO), με στόχο την ανταλλαγή καλών πρακτικών και την προώθηση της αριστείας στη λειτουργία πυρηνικών εγκαταστάσεων.
- Επικαιροποίηση των διεθνών προτύπων ασφαλείας από τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ), με έμφαση στην πρόληψη, την αξιολόγηση κινδύνων και τη διαχείριση κρίσεων.
- Ρόλος της Ευρωπαϊκής Κοινότητας Ατομικής Ενέργειας (EURATOM) στη θέσπιση κοινών πλαισίων, κανόνων και μηχανισμών εποπτείας για τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενισχύοντας τη διαφάνεια και τη συμμόρφωση.

Η εποχή αυτή σηματοδότησε τη μετάβαση από την εθνική εποπτεία σε ένα συντονισμένο διεθνές πλαίσιο διακυβέρνησης, το οποίο αναγνώριζε ότι η

πυρηνική ασφάλεια είναι παγκόσμιο αγαθό που απαιτεί συλλογική ευθύνη και διαρκή βελτίωση.

5. Fukushima και η Σύγχρονη Εποχή (2011):

Η πυρηνική καταστροφή της Fukushima Daiichi το 2011 αποτέλεσε ένα κρίσιμο σημείο καμπής για τη διακυβέρνηση της πυρηνικής ενέργειας. Το ατύχημα αποκάλυψε σοβαρές αδυναμίες στον σχεδιασμό ασφαλείας, στην αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών και στη διαχείριση κρίσεων, επηρεάζοντας άμεσα τη στάση κρατών, οργανισμών και της κοινής γνώμης.

Βασικές επιπτώσεις:

- Επαναξιολόγηση και ενίσχυση των μέτρων ασφαλείας διεθνώς, με έμφαση στη φυσική ανθεκτικότητα των πυρηνικών εγκαταστάσεων απέναντι σε σεισμούς, πλημμύρες και άλλες φυσικές απειλές.
- Αναθεώρηση των πρωτοκόλλων ετοιμότητας και αντίδρασης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνές επίπεδο.
- Επαναπροσδιορισμός της ενεργειακής στρατηγικής πολλών κρατών: χώρες όπως η Γερμανία αποφάσισαν τη σταδιακή απεμπλοκή από την πυρηνική ενέργεια, ενώ άλλες επανεξέτασαν ή ανέστειλαν την ανάπτυξη νέων πυρηνικών έργων.
- Αύξηση των απαιτήσεων διαφάνειας και ενημέρωσης του κοινού, ως κρίσιμο στοιχείο για την αποκατάσταση της εμπιστοσύνης στην τεχνολογία.

Η καταστροφή στη Fukushima υπογράμμισε ότι η πυρηνική ασφάλεια δεν είναι ποτέ δεδομένη, και ότι το ρυθμιστικό πλαίσιο οφείλει να εξελίσσεται συνεχώς ώστε να ανταποκρίνεται σε νέες τεχνολογικές, φυσικές και κοινωνικές προκλήσεις.

6. Τρέχουσες τάσεις και μελλοντικές προοπτικές:

Τα τελευταία χρόνια, το θεσμικό πλαίσιο για την πυρηνική ενέργεια διαμορφώνεται από την αλληλεπίδραση τεχνολογικών καινοτομιών και παγκόσμιων προκλήσεων. Η ανάπτυξη προηγμένων τύπων αντιδραστήρων,

όπως οι Μικροί Αρθρωτοί Αντιδραστήρες (Small Modular Reactors – SMRs) και οι αντιδραστήρες τέταρτης γενιάς, αναδεικνύει την προσπάθεια για πιο ασφαλείς, αποδοτικούς και ευέλικτους τρόπους παραγωγής πυρηνικής ενέργειας.

Παράλληλα, οι πιεστικές απαιτήσεις για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στο πλαίσιο της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής έχουν επανεντάξει την πυρηνική ενέργεια στη διεθνή συζήτηση για την ενεργειακή μετάβαση. Ορισμένες χώρες επανεξετάζουν την πολιτική τους έναντι της πυρηνικής τεχνολογίας, αξιολογώντας τη συμβολή της στην επίτευξη μηδενικών εκπομπών.

Το σημερινό θεσμικό πλαίσιο κινείται ανάμεσα:

- Στην ενίσχυση των διεθνών προτύπων ασφάλειας,
- Στην προώθηση καινοτόμων αντιδραστήρων με παθητικά συστήματα ασφαλείας,
- Στην ενσωμάτωση της πυρηνικής ενέργειας σε ολοκληρωμένα ενεργειακά μοντέλα χαμηλών εκπομπών.

Η πρόκληση πλέον είναι να διαμορφωθεί μια ευέλικτη αλλά αυστηρή κανονιστική βάση, που να επιτρέπει την καινοτομία χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ασφάλεια, το περιβάλλον και τη διεθνή ειρήνη.

Η ιστορική εξέλιξη του θεσμικού πλαισίου για την πυρηνική ενέργεια αντικατοπτρίζει μια πολύπλευρη και δυναμική διαδικασία, η οποία διαμορφώθηκε από τη σύγκλιση τεχνολογικών καινοτομιών, γεωπολιτικών στρατηγικών, ανησυχιών για την ασφάλεια και κοινωνικών αντιλήψεων. Από την αρχική φάση του ενθουσιασμού για την ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας έως την επιβολή αυστηρότερων περιορισμών μετά από καταστροφικά ατυχήματα όπως του Τσερνομπίλ και της Fukushima, η πορεία υπήρξε μια διαρκής διαδικασία μάθησης, αναθεώρησης και βελτίωσης.

Τα γεγονότα αυτά ενίσχυσαν την ανάγκη για αυστηρή ρυθμιστική εποπτεία, διεθνή συνεργασία και συστηματική διαχείριση κινδύνου, ενώ παράλληλα ανέδειξαν τη σημασία της ενημερωμένης και διαφανούς επικοινωνίας με το

κοινό. Η σημερινή εποχή, με φόντο την κλιματική κρίση και την ανάγκη για ενεργειακή μετάβαση, απαιτεί ένα θεσμικό πλαίσιο που θα μπορεί να ισορροπήσει τα οφέλη της πυρηνικής ενέργειας —όπως οι χαμηλές εκπομπές άνθρακα και η ενεργειακή αυτάρκεια— με τις ανησυχίες για την ασφάλεια, τα απόβλητα και την μη διάδοση.

Η κατανόηση της ιστορικής αυτής διαδρομής είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό ενός μελλοντικού πλαισίου χρήσης της πυρηνικής τεχνολογίας, που να είναι υπεύθυνο, ανθεκτικό και ευέλικτο, ανταποκρινόμενο τόσο στις τεχνολογικές εξελίξεις όσο και στις παγκόσμιες απαιτήσεις για βιώσιμη ανάπτυξη.

2.2 Ισχύον νομικό και οργανωτικό πλαίσιο όσον αφορά την πυρηνική ασφάλεια

Το ισχύον νομικό και οργανωτικό πλαίσιο για την πυρηνική ασφάλεια αποτελεί μια σύνθετη δομή που έχει διαμορφωθεί προοδευτικά, με σκοπό τη διασφάλιση της ασφαλούς, υπεύθυνης και ειρηνικής χρήσης της πυρηνικής τεχνολογίας. Συνδυάζει διεθνείς συνθήκες, περιφερειακές συμφωνίες και εθνικές ρυθμίσεις, αντανακλώντας την ανάγκη για πολυεπίπεδη συνεργασία, υψηλά πρότυπα ασφάλειας και αποτελεσματική ρυθμιστική εποπτεία.

Το πλαίσιο αυτό έχει διαμορφωθεί υπό το φως ιστορικών εξελίξεων, τεχνολογικών καινοτομιών και των αυξανόμενων προσδοκιών της κοινωνίας για προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας. Παράλληλα, απαντά στην ανάγκη πρόληψης της διάδοσης πυρηνικών όπλων και ενίσχυσης της διεθνούς εμπιστοσύνης.

Στις ενότητες που ακολουθούν, θα παρουσιαστούν οι βασικοί άξονες αυτού του πλαισίου, τόσο σε διεθνές όσο και σε εθνικό επίπεδο, αναδεικνύοντας τον τρόπο με τον οποίο συντονίζονται οι σχετικές πολιτικές, θεσμοί και φορείς για την αποτελεσματική διαχείριση των ζητημάτων πυρηνικής ασφάλειας.

2.2.1 Διεθνή Νομικά Μέσα

Σύμβαση για την Πυρηνική Ασφάλεια (CNS)

Η Σύμβαση για την Πυρηνική Ασφάλεια (*Convention on Nuclear Safety – CNS*) αποτελεί νομικά δεσμευτική διεθνή συνθήκη, η οποία τέθηκε σε ισχύ το 1996.

Στόχος της είναι η ενίσχυση της πυρηνικής ασφάλειας παγκοσμίως, μέσω της καθιέρωσης κοινών αρχών και προτύπων ασφαλούς λειτουργίας πυρηνικών εγκαταστάσεων.

Η σύμβαση επιβάλλει στα συμβαλλόμενα κράτη την υποχρέωση:

- να εφαρμόζουν εθνικά ρυθμιστικά πλαίσια πυρηνικής ασφάλειας·
- να υποβάλλουν τακτικές εθνικές εκθέσεις·
- να συμμετέχουν σε διακυβερνητικούς ελέγχους αξιολόγησης (peer review).

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διαφάνεια, στην ανταλλαγή τεχνικής πληροφόρησης και στη διαρκή βελτίωση των πρακτικών ασφαλείας.

Κοινή Σύμβαση για την Ασφάλεια της Διαχείρισης Αναλωθέντων Καυσίμων και Ραδιενεργών Αποβλήτων

Η Κοινή Σύμβαση για την Ασφάλεια της Διαχείρισης Αναλωθέντων Καυσίμων και Ραδιενεργών Αποβλήτων (Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management) εγκρίθηκε το 1997 και αποτελεί τον πρώτο διεθνή νομικά δεσμευτικό μηχανισμό που καλύπτει τις δύο αυτές θεματικές.

Βασικός της στόχος είναι:

- η εξασφάλιση υψηλού επιπέδου προστασίας της υγείας και του περιβάλλοντος μέσω της ασφαλούς διαχείρισης πυρηνικών καταλοίπων·
- η ανάπτυξη εθνικών στρατηγικών που καλύπτουν ολόκληρο τον κύκλο ζωής των ραδιενεργών υλικών·
- η δημιουργία μηχανισμών διεθνούς αξιολόγησης και ελέγχου από ανεξάρτητους εμπειρογνώμονες.

Η σύμβαση ενθαρρύνει επίσης τη διεθνή συνεργασία, την τεχνική βοήθεια προς κράτη με περιορισμένες δυνατότητες, και τη συστηματική παρακολούθηση της εφαρμογής των προβλεπόμενων μέτρων.

2.2.2 Εθνικά Ρυθμιστικά Πλαίσια

Ρυθμιστική Επιτροπή Πυρηνικών των Ηνωμένων Πολιτειών (NRC)

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η Nuclear Regulatory Commission (NRC) αποτελεί τον κεντρικό ρυθμιστικό φορέα που είναι επιφορτισμένος με τη διασφάλιση της ασφαλούς χρήσης της πυρηνικής ενέργειας. Η NRC:

- εκδίδει άδειες για την κατασκευή και λειτουργία πυρηνικών εγκαταστάσεων,
- θεσπίζει τεχνικούς και κανονιστικούς κανόνες ασφάλειας,
- διενεργεί επιθεωρήσεις και ελέγχους για τη συμμόρφωση με τα πρότυπα,
- επιβλέπει τον παροπλισμό πυρηνικών μονάδων, καθώς και τη μεταφορά και διάθεση πυρηνικών υλικών.

Το ρυθμιστικό της πλαίσιο καλύπτει πλήρως τον κύκλο ζωής των πυρηνικών εγκαταστάσεων, από το σχεδιασμό και την αδειοδότηση έως την τελική αποξήλωση.

Καναδική Επιτροπή Πυρηνικής Ασφάλειας (CNSC)

Στον Καναδά, η Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC) αποτελεί τον επίσημο εθνικό φορέα που ρυθμίζει την ανάπτυξη, παραγωγή και χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Το CNSC έχει ως αποστολή:

- την προστασία της δημόσιας υγείας, της ασφάλειας και του περιβάλλοντος,
- την πρόληψη της κακόβουλης χρήσης πυρηνικών υλικών,
- την εφαρμογή διεθνών υποχρεώσεων περί μη διάδοσης πυρηνικών όπλων.

Το πλαίσιο δράσης του περιλαμβάνει διαδικασίες αδειοδότησης, ελέγχου συμμόρφωσης, καθώς και τη θέσπιση κανονισμών για τις πυρηνικές εγκαταστάσεις και δραστηριότητες σε εθνικό επίπεδο.

Ευρωπαϊκό Ρυθμιστικό Πλαίσιο για την Πυρηνική Ασφάλεια-Ευρωπαϊκή Κοινότητα Ατομικής Ενέργειας (EURATOM)

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Ατομικής Ενέργειας (EURATOM) αποτελεί περιφερειακό οργανισμό που έχει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση και εναρμόνιση του νομικού πλαισίου που διέπει την ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το θεσμικό αυτό πλαίσιο καλύπτει κρίσιμους τομείς όπως η πυρηνική ασφάλεια, οι διασφαλίσεις μη διάδοσης και η ασφαλής διαχείριση ραδιενεργών αποβλήτων. Η EURATOM προωθεί τη συνεργασία μεταξύ των κρατών-μελών, ενισχύοντας την τεχνική εναρμόνιση και την κοινή συμμόρφωση προς υψηλά πρότυπα ασφάλειας [\[14\]](#).

Οδηγία 2014/87/EURATOM για την Πυρηνική Ασφάλεια

Η Οδηγία 2014/87/EURATOM, η οποία τροποποίησε την αρχική Οδηγία 2009/71/EURATOM, θεσπίζει βασικά πρότυπα ασφάλειας με σκοπό την προστασία του πληθυσμού και του περιβάλλοντος από τους κινδύνους της ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Η Οδηγία:

- απαιτεί από τα κράτη-μέλη να θεσπίσουν εθνικά νομοθετικά και ρυθμιστικά πλαίσια για την πυρηνική ασφάλεια,
- υποχρεώνει τη διενέργεια τακτικών επανελέγχων ασφάλειας των πυρηνικών εγκαταστάσεων,
- δίνει έμφαση στη διαφάνεια, την ενημέρωση του κοινού και τη διεθνή συνεργασία σε ζητήματα ασφάλειας.

Συμπερασματική Αποτίμηση

Το ισχύον νομικό και οργανωτικό πλαίσιο για την πυρηνική ασφάλεια στην Ευρώπη αποτελεί ένα δυναμικά εξελισσόμενο σύστημα που βασίζεται στη συνεργασία μεταξύ διεθνών και εθνικών αρχών. Η προσήλωση των κρατών στην τήρηση υψηλών προδιαγραφών ασφάλειας, η συμμόρφωση με διεθνείς συνθήκες και η συνεχής αναβάθμιση των ρυθμιστικών μηχανισμών είναι θεμελιώδους σημασίας για την ασφαλή και υπεύθυνη χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Η επικαιροποίηση των προτύπων, η πολυμερής συνεργασία και η

ανοιχτή επικοινωνία με την κοινωνία αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους για την ενίσχυση της παγκόσμιας πυρηνικής ασφάλειας.

2.3 Διεθνείς Συνθήκες και Οργανισμοί

Το διεθνές πλαίσιο για την ορθολογική και ασφαλή χρήση της πυρηνικής ενέργειας βασίζεται σε ένα σύνολο πολυμερών συνθηκών, συμφωνιών και θεσμικών μηχανισμών, που αποσκοπούν στην καθιέρωση κοινών αρχών, ρυθμίσεων και πρακτικών για όλα τα κράτη. Οι ρυθμίσεις αυτές καλύπτουν κρίσιμους τομείς όπως:

- η μη διάδοση των πυρηνικών όπλων,
- η προώθηση των ειρηνικών χρήσεων της πυρηνικής τεχνολογίας,
- η πυρηνική ασφάλεια και προστασία,
- καθώς και η προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας από τις επιπτώσεις της ιοντίζουσας ακτινοβολίας.

Το θεσμικό αυτό οικοδόμημα διαμορφώθηκε σταδιακά μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο και συνεχίζει να εξελίσσεται σε απάντηση σε νέες τεχνολογικές, γεωπολιτικές και περιβαλλοντικές προκλήσεις. Στην ενότητα αυτή, θα παρουσιαστούν οι σημαντικότερες διεθνείς συνθήκες, καθώς και οι κορυφαίοι διεθνείς οργανισμοί, που διαμορφώνουν το σύγχρονο κανονιστικό και συνεργατικό πλαίσιο για την υπεύθυνη χρήση της πυρηνικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο.

2.3.1. Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ): Ένας πυλώνας πυρηνικής διακυβέρνησης

Ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ) αποτελεί τον βασικό θεσμικό πυλώνα για την προώθηση της υπεύθυνης και ειρηνικής χρήσης της πυρηνικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Ιδρύθηκε το 1957 και λειτουργεί ως ανεξάρτητος διεθνής οργανισμός υπό την αιγίδα των Ηνωμένων Εθνών, συνδυάζοντας τεχνικό, πολιτικό και ρυθμιστικό ρόλο.

Η αποστολή του ΔΟΑΕ είναι τριπλή:

1. να προάγει τις ειρηνικές χρήσεις της πυρηνικής τεχνολογίας,

2. να διασφαλίζει ότι η πυρηνική ενέργεια δεν χρησιμοποιείται για στρατιωτικούς σκοπούς, και
3. να εφαρμόζει διεθνείς διασφαλίσεις μέσω ενός πλαισίου επιθεωρήσεων, παρακολούθησης και ελέγχου.

Οι διασφαλίσεις αυτές περιλαμβάνουν:

- επιτόπιες επιθεωρήσεις,
- ανάλυση καταγραφών και δηλώσεων υλικών,
- χρήση τεχνικών μέσων όπως κάμερες και αισθητήρες παρακολούθησης.

Στόχος των μηχανισμών αυτών είναι η αποτροπή της εξάπλωσης των πυρηνικών όπλων, μέσω της διατήρησης της διαφάνειας και της εμπιστοσύνης μεταξύ των κρατών [\[15\]](#).

2.3.2 Συνθήκη για τη μη διάδοση των πυρηνικών όπλων (NPT: Non-Proliferation Treaty)

Η Συνθήκη για τη Μη Διάδοση των Πυρηνικών Όπλων (Non-Proliferation Treaty – NPT) αποτελεί έναν από τους ακρογωνιαίους λίθους της διεθνούς αρχιτεκτονικής ασφάλειας και ελέγχου των εξοπλισμών. Υπογράφηκε ταυτόχρονα στις 1 Ιουλίου 1968 σε Μόσχα, Λονδίνο και Ουάσινγκτον από 59 κράτη, μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα, και τέθηκε σε ισχύ στις 5 Μαρτίου 1970 [\[16\]](#) Η NPT έχει τριπλό στόχο:

1. Τη μη διάδοση των πυρηνικών όπλων σε κράτη που δεν τα κατείχαν μέχρι το 1968.
2. Την προώθηση της ειρηνικής χρήσης της πυρηνικής ενέργειας, με τη δυνατότητα μεταφοράς τεχνογνωσίας και υλικών για μη στρατιωτικούς σκοπούς.
3. Τον πυρηνικό αφοπλισμό, ως τελικό ζητούμενο για όλα τα κράτη.

Τα κράτη-μέλη της συνθήκης δεσμεύονται να μην αποκτήσουν ή αναπτύξουν πυρηνικά όπλα εφόσον δεν τα διαθέτουν, ενώ τα κράτη που τα κατείχαν πριν το 1968 υποχρεούνται να μην μεταφέρουν τέτοια όπλα ή τεχνολογία σε τρίτους. Σε αντάλλαγμα, όλα τα συμβαλλόμενα κράτη αποκτούν δικαίωμα πρόσβασης

στην ειρηνική πυρηνική τεχνολογία, υπό όρους επιτήρησης και διαφάνειας από διεθνείς οργανισμούς όπως ο ΔΟΑΕ.

Η εφαρμογή και η πρόοδος της συνθήκης εξετάζονται ανά πενταετία, στο πλαίσιο των Διασκέψεων Αναθεώρησης της NPT, όπου τα κράτη-μέλη συζητούν τις προκλήσεις, τα επιτεύγματα και τις ερμηνείες των διατάξεων της [\[16\]](#).

2.3.3 Συνολική Συνθήκη Απαγόρευσης Πυρηνικών Δοκιμών (CTBT): Παύση των πυρηνικών δοκιμών

Η CTBT (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty) εγκρίθηκε από τη Γενική Συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών το 1996 και αποσκοπεί στην καθολική απαγόρευση όλων των πυρηνικών δοκιμών, ανεξαρτήτως αν αυτές πραγματοποιούνται για στρατιωτικούς ή πολιτικούς σκοπούς. Αν και η συνθήκη δεν έχει ακόμη τεθεί σε ισχύ —καθώς ορισμένα βασικά κράτη δεν την έχουν επικυρώσει— έχει ήδη διαμορφώσει ένα διεθνές καθεστώς αποτροπής των πυρηνικών δοκιμών.

Η CTBT συνοδεύεται από την ίδρυση ενός παγκόσμιου συστήματος παρακολούθησης και επαλήθευσης, το οποίο περιλαμβάνει σεισμικούς, υδροακουστικούς, ραδιολογικούς και μηχανισμούς ανίχνευσης infrasound, με σκοπό τον έγκαιρο εντοπισμό παράνομων πυρηνικών δοκιμών οπουδήποτε στον κόσμο.

Παρότι δεν είναι ακόμη νομικά δεσμευτική, η συνθήκη έχει ήδη ενισχύσει το παγκόσμιο μορατόριουμ στις πυρηνικές δοκιμές και λειτουργεί ως αποτρεπτικός μηχανισμός για την περαιτέρω ανάπτυξη και τελειοποίηση πυρηνικών όπλων, συμπληρώνοντας τη Συνθήκη για τη Μη Διάδοση των Πυρηνικών Όπλων (NPT) [\[17\]](#).

2.3.4 Διεθνές Πλαίσιο Συνεργασίας για την Πυρηνική Ενέργεια (IFNEC): Διευκόλυνση της Συνεργασίας

Το Διεθνές Πλαίσιο Συνεργασίας για την Πυρηνική Ενέργεια (IFNEC) ιδρύθηκε το 2010, ως θεσμική συνέχεια της πρωτοβουλίας Global Nuclear Energy Partnership (GNEP) που είχε αρχικά λανσάρι η κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών. Αποτελεί μια διεθνή πολυμερή πρωτοβουλία που αποσκοπεί στην

προώθηση της ειρηνικής, ασφαλούς και υπεύθυνης χρήσης της πυρηνικής ενέργειας, με παράλληλη πρόληψη της διάδοσης πυρηνικών όπλων.

Το IFNEC λειτουργεί ως πλαίσιο διαλόγου και τεχνικής συνεργασίας μεταξύ των συμμετεχουσών χωρών, ενθαρρύνοντας την ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών, την ενίσχυση των ρυθμιστικών πλαισίων, και την κοινή αντιμετώπιση προκλήσεων σε κρίσιμους τομείς όπως η πυρηνική ασφάλεια, η φυσική ασφάλεια πυρηνικών εγκαταστάσεων, και η διαχείριση του κύκλου καυσίμου.

Μέσα από την προώθηση της διαφάνειας και της συνεργασίας, το IFNEC συμβάλλει στην ενίσχυση της παγκόσμιας εμπιστοσύνης γύρω από τη χρήση της πυρηνικής τεχνολογίας και στη διαμόρφωση ενός βιώσιμου και ασφαλούς πυρηνικού μέλλοντος [\[18\]](#).

2.3.5 Σύμβαση για την πυρηνική ασφάλεια (CNS): Ενίσχυση των προτύπων πυρηνικής ασφάλειας

Η Σύμβαση για την Πυρηνική Ασφάλεια (Convention on Nuclear Safety – CNS) υιοθετήθηκε το 1994 υπό την αιγίδα του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ) και τέθηκε σε ισχύ το 1996. Αποτελεί μια διεθνώς δεσμευτική συνθήκη, η οποία έχει ως στόχο την επίτευξη και διατήρηση υψηλού επιπέδου πυρηνικής ασφάλειας παγκοσμίως.

Οι χώρες που συμμετέχουν δεσμεύονται να εφαρμόζουν κοινά πρότυπα ασφάλειας στις πυρηνικές εγκαταστάσεις τους και να συμμετέχουν σε περιοδικές συνεδριάσεις επανεξέτασης, όπου αξιολογείται η πρόοδος και η συμμόρφωση με τις απαιτήσεις της σύμβασης. Μέσω αυτής της διαδικασίας, προάγονται η διαφάνεια, η διεθνής συνεργασία και η ανταλλαγή τεχνικών και ρυθμιστικών πληροφοριών, συμβάλλοντας καθοριστικά στη συνεχή βελτίωση των παγκόσμιων προτύπων πυρηνικής ασφάλειας [\[19\]](#).

2.3.6 Ειρηνικές Χρήσεις Πυρηνικής Ενέργειας και Βιώσιμη Ανάπτυξη Ατζέντα 21 και Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ)

Η Ατζέντα 21, που εγκρίθηκε στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (UNCED) το 1992, αναγνωρίζει τη συμβολή της πυρηνικής ενέργειας στη βιώσιμη ανάπτυξη, ιδίως στο πλαίσιο της

αντιμετώπισης των σύγχρονων περιβαλλοντικών και ενεργειακών προκλήσεων.

Η ένταξη της πυρηνικής ενέργειας στην παγκόσμια στρατηγική για την αειφόρο ανάπτυξη αποτυπώνεται στους 17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ), με χαρακτηριστικά παραδείγματα:

- ΣΒΑ 7: Προσιτή και καθαρή ενέργεια – η πυρηνική ενέργεια παρέχει αξιόπιστη και χαμηλών εκπομπών λύση για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
- ΣΒΑ 12: Υπεύθυνη κατανάλωση και παραγωγή – με έμφαση στην αποδοτική χρήση των φυσικών πόρων και στη διαχείριση των αποβλήτων.
- ΣΒΑ 13: Δράση για το κλίμα – συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.
- ΣΒΑ 15: Ζωή στη στεριά – μέσω της ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων από την ατμοσφαιρική ρύπανση και την καταστροφή οικοσυστημάτων.

Η ειρηνική χρήση της πυρηνικής τεχνολογίας προβάλλει ως πολύτιμο εργαλείο για την επίτευξη ενεργειακής ασφάλειας, τη μετάβαση σε καθαρές μορφές ενέργειας και την υποστήριξη της κοινωνικοοικονομικής ανάπτυξης, ιδίως σε αναπτυσσόμενες χώρες [\[20\]](#).

Συμφωνία του Παρισιού: Η Πυρηνική Ενέργεια στο Πλαίσιο της Δράσης για το Κλίμα

Η Συμφωνία του Παρισιού, η οποία υπογράφηκε από τα κράτη μέλη της Σύμβασης-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC), εγκρίθηκε από 195 χώρες και την Ευρωπαϊκή Ένωση κατά την 21η Διάσκεψη των Μερών (COP21), που πραγματοποιήθηκε στο Παρίσι στις 12 Δεκεμβρίου 2015. Η συμφωνία τέθηκε επίσημα σε ισχύ στις 4 Νοεμβρίου 2016, εγκαινιάζοντας μια νέα παγκόσμια προσέγγιση για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

Αν και η συμφωνία δεν αναφέρει ρητά την πυρηνική ενέργεια, αναγνωρίζει την ανάγκη για ένα ευέλικτο και διαφοροποιημένο ενεργειακό μείγμα, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Πολλοί επιστημονικοί και τεχνικοί κύκλοι υποστηρίζουν ότι η πυρηνική ενέργεια μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, καθώς αποτελεί πηγή ηλεκτρικής ενέργειας χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η ενσωμάτωσή της στον παγκόσμιο διάλογο για το κλίμα αναδεικνύει τη δυναμική της ως εργαλείο απανθρακοποίησης του ενεργειακού τομέα και ενίσχυσης της ενεργειακής ασφάλειας [\[21\]](#).

2.3.7 Πυρηνική Ενέργεια και Βιώσιμη Ανάπτυξη: Η Διεθνής Συνεργασία στην Παγκόσμια Έρευνα και Καινοτομία

Η διεθνής συνεργασία στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας και της τεχνολογίας αποτελεί θεμέλιο λίθο για την προώθηση της ειρηνικής, ασφαλούς και υπεύθυνης χρήσης της πυρηνικής τεχνολογίας. Αυτή η συνεργασία καλύπτει κρίσιμους τομείς, όπως:

- Την ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών
- Την ενίσχυση της πυρηνικής ασφάλειας
- Την βιώσιμη διαχείριση των ραδιενεργών αποβλήτων
- Την διεθνή έρευνα για την αντιμετώπιση ενεργειακών και περιβαλλοντικών προκλήσεων

1. Διεθνή Ερευνητικά Προγράμματα

Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP)

Η SNETP είναι μια ευρωπαϊκή πλατφόρμα τεχνολογίας που προωθεί την έρευνα και την καινοτομία στον τομέα της βιώσιμης πυρηνικής ενέργειας. Εστιάζει στην:

- Ανάπτυξη προηγμένων αντιδραστήρων επόμενης γενιάς (Generation IV)
- Βελτίωση της ασφάλειας και αποδοτικότητας υφιστάμενων τεχνολογιών
- Ολοκληρωμένη διαχείριση ραδιενεργών αποβλήτων, με στόχο τη μείωση του όγκου και της επικινδυνότητάς τους

Η SNETP υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και αποτελεί παράδειγμα του πώς η διεθνής συνεργασία ενισχύει τις επιστημονικές

προσπάθειες για πιο καθαρές και ασφαλείς λύσεις στον τομέα της ενέργειας [\[22\]](#).

GEN-IV International Forum (GIF)-Καινοτομία στην Τέταρτη Γενιά Πυρηνικών Αντιδραστήρων

Το GEN-IV International Forum (GIF) αποτελεί ένα πολυμερές διεθνές πλαίσιο συνεργασίας, το οποίο στοχεύει στην έρευνα και ανάπτυξη αντιδραστήρων τέταρτης γενιάς. Οι τεχνολογίες αυτές επιδιώκουν να ξεπεράσουν τα όρια των σημερινών πυρηνικών συστημάτων, προσφέροντας:

- Αυξημένα επίπεδα ασφάλειας, με παθητικά και εξελιγμένα ενεργά συστήματα προστασίας
- Βελτιστοποιημένη αξιοποίηση καυσίμου, μέσω κύκλων υψηλής απόδοσης
- Σημαντική μείωση των ραδιενεργών αποβλήτων, τόσο σε όγκο όσο και σε διάρκεια ζωής
- Ενισχυμένη ανθεκτικότητα κατά της διάδοσης πυρηνικών υλικών

Το GIF ενθαρρύνει τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα της πυρηνικής ενέργειας, δίνοντας έμφαση σε περιβαλλοντικά αποδεκτές και τεχνικά εξελιγμένες λύσεις που ενισχύουν τη διεθνή ασφάλεια και την αποδοτική παραγωγή ενέργειας [\[23\]](#).

International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER): Pursuing Fusion Energy-Διεθνής Πρωτοβουλία για Ενέργεια από Πυρηνική Σύντηξη

Ο ITER αποτελεί το μεγαλύτερο διεθνές εγχείρημα για την αξιοποίηση της πυρηνικής σύντηξης ως βιώσιμης πηγής ενέργειας. Βασισμένος στη φυσική αρχή που διέπει τη λειτουργία του Ήλιου, ο ITER στοχεύει στην παραγωγή ενέργειας μέσω σύντηξης πυρήνων δευτερίου και τριτίου υπό ακραίες θερμοκρασίες, δημιουργώντας πλάσμα περιορισμένο μαγνητικά.

Η εγκατάσταση κατασκευάζεται στη Cadarache της Νότιας Γαλλίας και αποτελεί το μεγαλύτερο πείραμα μαγνητικού περιορισμού στον κόσμο, με όγκο πλάσματος δεκαπλάσιο από κάθε προηγούμενη μονάδα σύντηξης. Το έργο

τελεί υπό τη συνεργασία επτά εταίρων: Ευρωπαϊκή Ένωση, Κίνα, Ινδία, Ιαπωνία, Νότια Κορέα, Ρωσία και Ηνωμένες Πολιτείες.

- Η πρώτη φάση πειραματικής λειτουργίας έχει προγραμματιστεί για το 2025, ενώ η πλήρης πειραματική ισχύς αναμένεται να επιτευχθεί έως το 2035.
- Ο ITER στοχεύει στην παραγωγή 500 MW θερμότητας από σύντηξη, με εισροή μόλις 50 MW ισχύος στο πλάσμα – επιτυγχάνοντας λόγο ενεργειακής απόδοσης $Q \geq 10$.

Η επιτυχία του ITER θα αποτελέσει ορόσημο στην παγκόσμια προσπάθεια απεξάρτησης από τον άνθρακα, προσφέροντας απεριόριστη, ασφαλή και καθαρή ενέργεια χωρίς ραδιενεργά απόβλητα [\[24\]](#).

Ο θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας σύντηξης του ITER προβλέπεται να χρησιμοποιεί άνω των 300 MW ηλεκτρικής ισχύος για τη λειτουργία των υποσυστημάτων μαγνητικού περιορισμού και θέρμανσης, προκειμένου το πλάσμα να απορροφήσει περίπου 50 MW θερμικής ισχύος. Η διαδικασία αυτή στοχεύει στην παραγωγή έως και 500 MW θερμότητας μέσω σύντηξης, για χρονικά διαστήματα μεταξύ 400 και 600 δευτερολέπτων, αποδεικνύοντας λόγο ενεργειακού κέρδους $Q = 10$, δηλαδή δεκαπλάσια απόδοση ενέργειας σε σχέση με την απορροφούμενη από το πλάσμα.

Ο ITER χρηματοδοτείται και συντονίζεται από επτά διεθνείς εταίρους: Κίνα, Ευρωπαϊκή Ένωση, Ινδία, Ιαπωνία, Ρωσία, Νότια Κορέα και Ηνωμένες Πολιτείες. Μετά το Brexit, το Ηνωμένο Βασίλειο συνέχισε τη συμμετοχή του μέσω του μηχανισμού Fusion for Energy· ωστόσο, τον Σεπτέμβριο του 2023, ανακοίνωσε την αποχώρησή του από τη συνεργασία.

Ο βασικός στόχος του ITER είναι η πειραματική επαλήθευση της τεχνολογικής βιωσιμότητας της παραγωγής ενέργειας από πυρηνική σύντηξη. Αν επιτευχθεί, το επίτευγμα αυτό θα προσφέρει απεριόριστη, καθαρή και ασφαλή ενέργεια, χωρίς την παραγωγή μακρόβιων ραδιενεργών αποβλήτων, συμβάλλοντας καθοριστικά στην ενεργειακή μετάβαση και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής [\[24\]](#).

2.4 Το θεσμικό πλαίσιο ως πηγή περιορισμού της Πυρηνικής Ενέργειας: η δεύτερη φάση

Το θεσμικό πλαίσιο για την πυρηνική ενέργεια συνιστά έναν από τους βασικούς μηχανισμούς ελέγχου και περιορισμού της ανάπτυξης και χρήσης της, με σκοπό τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας, της ασφάλειας και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Η δεύτερη φάση του ρυθμιστικού αυτού πλαισίου σηματοδοτεί την επανεστίαση του διεθνούς ενδιαφέροντος από την προώθηση στην αυστηροποίηση των όρων χρήσης της πυρηνικής τεχνολογίας. Πρόκειται για μια περίοδο κατά την οποία ενισχύθηκαν οι μηχανισμοί ελέγχου, τα κανονιστικά πρότυπα, και η διαφάνεια στη λειτουργία πυρηνικών εγκαταστάσεων, κυρίως ως αντίδραση σε μείζονα πυρηνικά ατυχήματα όπως το Τσερνόμπιλ το 1986 και η Φουκουσίμα το 2011.

Η εμπειρία αυτών των κρίσεων ανέδειξε τις ανεπάρκειες του προηγούμενου ρυθμιστικού πλαισίου και οδήγησε σε μια νέα εποχή αυξημένων απαιτήσεων ασφάλειας, τόσο σε τεχνικό όσο και σε θεσμικό επίπεδο. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της δεύτερης αυτής φάσης:

1. Αυστηρότεροι Κανονισμοί Ασφαλείας

Η δεύτερη φάση του θεσμικού πλαισίου για την πυρηνική ενέργεια χαρακτηρίζεται από την επιβολή αυστηρότερων κανονισμών και προτύπων ασφαλείας για τις πυρηνικές εγκαταστάσεις. Σημαντικά ατυχήματα, όπως εκείνα του Τσερνόμπιλ (1986) και της Φουκουσίμα (2011), λειτούργησαν ως καταλύτες για την επανεξέταση και ενίσχυση των υπάρχοντων συστημάτων ασφαλείας σε παγκόσμιο επίπεδο.

Ως αποτέλεσμα, διεθνείς οργανισμοί και εθνικές ρυθμιστικές αρχές προχώρησαν στην αναθεώρηση και αυστηροποίηση των ρυθμιστικών απαιτήσεων, εστιάζοντας ιδίως:

- στα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ασφαλείας,
- στην ανθεκτικότητα των εγκαταστάσεων σε φυσικές καταστροφές (όπως σεισμοί και τσουνάμι),

- και στη διαχείριση της πιθανής διαρροής ραδιενέργειας.

Η ενίσχυση των κανόνων αυτών επιδιώκει τη μείωση των συστημικών κινδύνων, την προετοιμασία για απρόβλεπτα σενάρια και την αύξηση της εμπιστοσύνης του κοινού στην ασφαλή χρήση της πυρηνικής ενέργειας [25].

2. Ενισχυμένη Ρυθμιστική Επιτήρηση

Ένα ακόμη βασικό χαρακτηριστικό της δεύτερης φάσης του θεσμικού πλαισίου είναι η εντατικοποίηση των ρυθμιστικών ελέγχων από εθνικούς και διεθνείς οργανισμούς. Ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ), καθώς και η Ευρωπαϊκή Ένωση, έχουν θεσπίσει αναβαθμισμένα πρωτόκολλα επιθεώρησης και αξιολόγησης των πυρηνικών εγκαταστάσεων.

Αυτά περιλαμβάνουν:

- Τακτικούς ελέγχους ασφαλούς λειτουργίας,
- Αξιολογήσεις συμμόρφωσης με διεθνή πρότυπα,
- και την υποχρέωση υποβολής εκθέσεων από τα κράτη μέλη.

Παράλληλα, ενισχύεται η διακρατική συνεργασία στον τομέα της πυρηνικής ασφάλειας, μέσω μηχανισμών ανταλλαγής τεχνικής εμπειρογνωμοσύνης, κοινών εκπαιδευτικών πρωτοβουλιών και διαφάνειας στη διαχείριση κινδύνων. Οι προσπάθειες αυτές στοχεύουν στη διαμόρφωση ενός συνεκτικού και αξιόπιστου πλαισίου ελέγχου, που ενισχύει την παγκόσμια πυρηνική ασφάλεια και περιορίζει τον κίνδυνο μεμονωμένων συστημικών αστοχιών [25].

3. Διεθνείς Συνθήκες και Συμφωνίες

Στο πλαίσιο της δεύτερης φάσης, παρατηρείται σημαντική ενίσχυση των διεθνών συνθηκών και συμφωνιών που διέπουν τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Η Συνθήκη για τη Μη Διάδοση των Πυρηνικών Όπλων (NPT) εξακολουθεί να αποτελεί θεμέλιο του παγκόσμιου καθεστώτος μη διάδοσης, ενθαρρύνοντας τον έλεγχο της πυρηνικής τεχνολογίας και την αξιοποίησή της αποκλειστικά για ειρηνικούς σκοπούς.

Παράλληλα, ενισχύεται η διεθνής συνεργασία με στόχο την ανταλλαγή πληροφοριών, τεχνικής τεχνογνωσίας και την εναρμόνιση των προτύπων

πυρηνικής ασφάλειας. Διεθνείς οργανισμοί όπως ο ΔΟΑΕ διαδραματίζουν κομβικό ρόλο στον συντονισμό αυτών των προσπάθειών, προωθώντας την κοινή λήψη μέτρων για την πρόληψη κινδύνων και την ενίσχυση της παγκόσμιας πυρηνικής ασφάλειας [\[25\]](#).

4. Ενεργειακή Πολιτική και Κοινή Γνώμη

Κατά τη δεύτερη φάση του θεσμικού πλαισίου, σημαντικό ρόλο στους περιορισμούς της χρήσης της πυρηνικής ενέργειας διαδραματίζουν οι πολιτικές αποφάσεις και η στάση της κοινής γνώμης. Τα μεγάλα πυρηνικά ατυχήματα, όπως εκείνα στο Τσερνόμπιλ και στη Φουκουσίμα, επέδρασαν καταλυτικά στη διαμόρφωση της πολιτικής βούλησης σε αρκετές χώρες, οδηγώντας σε αποφάσεις για σταδιακή κατάργηση ή μείωση της εξάρτησης από την πυρηνική ενέργεια. Η ανησυχία του κοινού για ζητήματα ασφαλείας και περιβαλλοντικής προστασίας επηρέασε την ενεργειακή στρατηγική πολλών κρατών, ενισχύοντας τη στροφή προς εναλλακτικές μορφές ενέργειας.

Η δεύτερη φάση του θεσμικού πλαισίου για την πυρηνική ενέργεια χαρακτηρίζεται από αυστηρότερους κανόνες ασφαλείας, ενισχυμένη ρυθμιστική εποπτεία, διεθνή συνεργασία, αλλά και πολιτικές και κοινωνικές πιέσεις που επηρεάζουν την ενεργειακή κατεύθυνση. Παρά τη συμβολή της πυρηνικής ενέργειας στη μείωση των εκπομπών και την επίτευξη ενεργειακής ασφάλειας, το θεσμικό πλαίσιο διαμορφώνεται με τρόπο ώστε να εξασφαλίζει τη μέγιστη προστασία της δημόσιας υγείας, της ασφάλειας και του περιβάλλοντος. Έτσι, λειτουργεί όχι μόνο ως μηχανισμός ρύθμισης, αλλά και ως φραγμός στην ανεξέλεγκτη ανάπτυξη, καθοδηγώντας τη χρήση της πυρηνικής τεχνολογίας προς υπεύθυνες και ασφαλείς εφαρμογές [\[25\]](#).

2.5 Εθνικά ιδρύματα: Ο Ρόλος των Ρυθμιστικών Αρχών στην Πυρηνική Ασφάλεια

Εκτός από το διεθνές θεσμικό πλαίσιο, τα εθνικά ιδρύματα διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη ρύθμιση και εποπτεία της πυρηνικής ενέργειας. Αν και τα ρυθμιστικά πλαίσια διαφέρουν από χώρα σε χώρα, υπάρχουν κοινά χαρακτηριστικά, όπως η ευθύνη για:

- Την ασφάλεια των πυρηνικών εγκαταστάσεων και υλικών

- Την παρακολούθηση της συμμόρφωσης με εθνικές και διεθνείς κανονιστικές απαιτήσεις
- Την έκδοση αδειών λειτουργίας, καθώς και την επιβολή ρυθμιστικών ελέγχων και κυρώσεων σε περίπτωση παραβιάσεων.

Η Ρυθμιστική Επιτροπή Πυρηνικών των Ηνωμένων Πολιτειών (NRC) είναι ο κύριος ρυθμιστικός φορέας που είναι υπεύθυνος για την ασφαλή χρήση της πυρηνικής ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το NRC ιδρύθηκε το 1975 μετά την ψήφιση του νόμου για την ενεργειακή αναδιοργάνωση, ο οποίος κατήργησε την Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας και μεταβίβασε της αρμοδιότητές της στο NRC και στη Διοίκηση Έρευνας και Ανάπτυξης Ενέργειας. Το NRC είναι υπεύθυνο για την αδειοδότηση και τη ρύθμιση πυρηνικών εγκαταστάσεων και υλικών, καθώς και για την επιβολή των κανονισμών ασφάλειας

Η Ρυθμιστική Επιτροπή Πυρηνικών των Ηνωμένων Πολιτειών (NRC)

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το βασικό εθνικό ίδρυμα για την πυρηνική ασφάλεια είναι η Ρυθμιστική Επιτροπή Πυρηνικών (Nuclear Regulatory Commission – NRC). Η NRC ιδρύθηκε το 1975, κατόπιν της ψήφισης του νόμου για την Ενεργειακή Αναδιοργάνωση, με τον οποίο καταργήθηκε η Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας και οι αρμοδιότητές της μεταφέρθηκαν στο NRC και στη Διοίκηση Έρευνας και Ανάπτυξης Ενέργειας.

Οι κύριες αρμοδιότητες της NRC περιλαμβάνουν:

- Την αδειοδότηση και ρύθμιση των πυρηνικών εγκαταστάσεων και των σχετικών υλικών
- Την επίβλεψη της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς ασφάλειας
- Τη διενέργεια επιθεωρήσεων και την επιβολή μέτρων για την πρόληψη και διαχείριση κινδύνων

Η NRC λειτουργεί ως ανεξάρτητη αρχή και αποτελεί παγκόσμιο πρότυπο για τη ρύθμιση της πυρηνικής ενέργειας, συμβάλλοντας και στη διαμόρφωση διεθνών προτύπων μέσω της συνεργασίας της με τον ΔΟΑΕ και άλλους οργανισμούς [\[26\]](#).

Ρυθμιστικός Φορέας Πυρηνικής Ασφάλειας στη Γαλλία: ASN

Στη Γαλλία, ο αρμόδιος ρυθμιστικός φορέας για την πυρηνική ενέργεια είναι η Αρχή Πυρηνικής Ασφάλειας (Autorité de sûreté nucléaire – ASN), η οποία ιδρύθηκε το 2006. Η ASN αποτελεί ανεξάρτητη διοικητική αρχή, επιφορτισμένη με την εποπτεία της πυρηνικής ασφάλειας και της ραδιολογικής προστασίας στη χώρα.

Οι κύριες αρμοδιότητές της περιλαμβάνουν:

- Την έκδοση αδειών για την κατασκευή και λειτουργία πυρηνικών εγκαταστάσεων
- Την παρακολούθηση της συμμόρφωσης με τις απαιτήσεις ασφαλείας
- Τη διενέργεια επιθεωρήσεων και ελέγχων
- Τη λήψη μέτρων αναστολής ή διακοπής λειτουργίας εγκαταστάσεων που δεν πληρούν τα πρότυπα ασφαλείας

Η ASN αποτελεί έναν από τους πιο αναγνωρισμένους φορείς στην Ευρώπη και συμβάλλει ενεργά στη διαμόρφωση πολιτικών ασφάλειας σε επίπεδο EURATOM και IAEA.

Ρυθμιστικός Φορέας Πυρηνικής Ασφάλειας στην Ιαπωνία: NRA

Η Ιαπωνία προχώρησε στη δημιουργία νέου ανεξάρτητου ρυθμιστικού οργανισμού μετά την καταστροφή στον πυρηνικό σταθμό Fukushima Daiichi το 2011. Έτσι, το 2012 ιδρύθηκε η Αρχή Πυρηνικών Κανονισμών (Nuclear Regulation Authority – NRA), αντικαθιστώντας το προηγούμενο, λιγότερο αποτελεσματικό ρυθμιστικό σχήμα.

Η NRA έχει ως αποστολή:

- Την επίβλεψη της πυρηνικής ασφάλειας και της προστασίας από ακτινοβολία
- Τη θέσπιση και επιβολή αυστηρών κανονισμών για την πυρηνική ενέργεια
- Την επιθεώρηση πυρηνικών εγκαταστάσεων και τη διερεύνηση περιστατικών

- Τη βελτίωση της διαφάνειας και της εμπιστοσύνης του κοινού στις ρυθμιστικές διαδικασίες

Η NRA θεωρείται πλέον πρότυπο μεταρρύθμισης, καθώς ενσωματώνει τις εμπειρίες από το ατύχημα της Φουκουσίμα και επικεντρώνεται στην ανεξαρτησία, διαφάνεια και συνεχή βελτίωση του θεσμικού πλαισίου [\[26\]](#).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ

3.1 Ορισμός

Τα πυρηνικά ατυχήματα είναι περιστατικά που περιλαμβάνουν την μη ελεγχόμενη απελευθέρωση ραδιενεργών υλικών από πυρηνικές εγκαταστάσεις ή πηγές ακτινοβολίας, προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, το φυσικό περιβάλλον και τη κοινωνικοοικονομική σταθερότητα.

Τα ατυχήματα αυτά μπορεί να οφείλονται σε:

- Τεχνικές αστοχίες (π.χ. αποτυχία συστημάτων ψύξης)
- Ανθρώπινα λάθη (π.χ. εσφαλμένες ενέργειες κατά τη λειτουργία)
- Φυσικές καταστροφές (π.χ. σεισμοί, τσουνάμι, πλημμύρες)

Η συστηματική μελέτη των αιτιών, των συνθηκών και των συνεπειών τέτοιων συμβάντων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για:

- την κατανόηση των μηχανισμών αστοχίας
- τη διαμόρφωση ισχυρότερων κανονιστικών πλαισίων
- την ενίσχυση της προληπτικής και κατασταλτικής πυρηνικής ασφάλειας
- και τη βελτίωση της ετοιμότητας σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης

Τα ιστορικά παραδείγματα μεγάλων πυρηνικών ατυχημάτων προσφέρουν κρίσιμα διδάγματα και αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της παγκόσμιας εμπειρίας στη διαχείριση πυρηνικών κινδύνων [\[27\]](#).

3.2 Πυρηνική Τεχνολογία: Κίνδυνοι και Διδάγματα από Ιστορικά Ατυχήματα

Η ανάπτυξη της πυρηνικής τεχνολογίας συνοδεύεται από σημαντικά ενεργειακά οφέλη, αλλά και από δυνητικά καταστροφικούς κινδύνους, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αποτυχίας κρίσιμων συστημάτων ασφαλείας. Τα πυρηνικά ατυχήματα που έχουν σημειωθεί παγκοσμίως έχουν αναδείξει την ανάγκη για διαρκή επαγρύπνηση, τεχνολογική αναβάθμιση και ενίσχυση των ρυθμιστικών πλαισίων.

Η κατανόηση των αιτίων, των άμεσων και μακροπρόθεσμων επιπτώσεων, καθώς και των διδασμάτων που προέκυψαν από ιστορικά πυρηνικά ατυχήματα, αποτελεί θεμέλιο λίθο για τη συνεχή βελτίωση της πυρηνικής ασφάλειας.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται χαρακτηριστικά παραδείγματα σοβαρών ατυχημάτων, με ανάλυση των συνθηκών, των τεχνικών και ανθρωπίνων παραγόντων που οδήγησαν στην εκδήλωσή τους, και των μέτρων που ελήφθησαν στη συνέχεια για την αποτροπή παρόμοιων περιστατικών στο μέλλον.

3.2.1 Kyshtym Disaster (1957)

Η καταστροφή του Kyshtym, που σημειώθηκε στις 29 Σεπτεμβρίου 1957, αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα πυρηνικά ατυχήματα του 20ού αιώνα, αν και συχνά επισκιάζεται από πιο γνωστά περιστατικά όπως αυτά του Τσερνόμπιλ και της Φουκουσίμα. Το ατύχημα έλαβε χώρα στην εγκατάσταση Mayak Production Association, στη Σοβιετική Ένωση (σημερινή Ρωσία).

[\[27\]](#).

Αιτίες:

Η έκρηξη προκλήθηκε από ακατάλληλη αποθήκευση ραδιενεργών υγρών αποβλήτων υψηλής ραδιενέργειας στη δεξαμενή Tank 54. Η αποτυχία του συστήματος ψύξης οδήγησε σε θερμική αστάθεια, με αποτέλεσμα τη χημική έκρηξη και την εκτίναξη ραδιενεργού υλικού στην ατμόσφαιρα

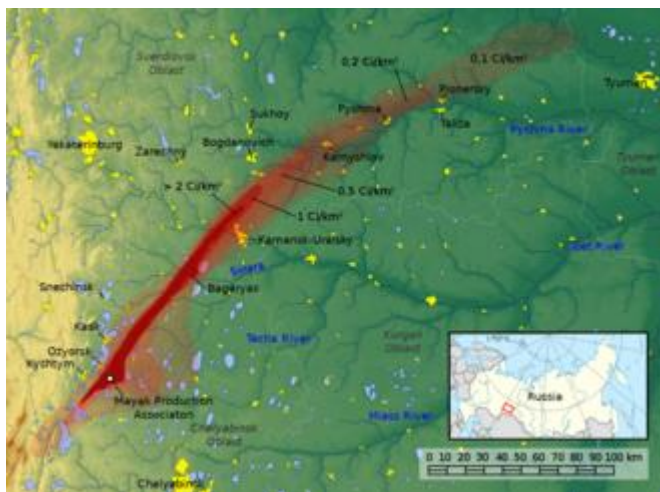
Άμεσες συνέπειες:

Οι άμεσες συνέπειες περιλάμβαναν την εκτεταμένη ραδιενεργό μόλυνση περιοχών της περιοχής Τσελιάμπινσκ, τη μόλυνση γειτονικών ποταμών και την απελευθέρωση ραδιενεργών ισοτόπων, όπως ιώδιο-131 και καίσιου-137. Το συμβάν αποσιωπήθηκε αρχικά από τις σοβιετικές αρχές, γεγονός που περιόρισε την έγκαιρη λήψη μέτρων προστασίας για τον τοπικό πληθυσμό.

Μακροπρόθεσμα αποτελέσματα:

Η ραδιενεργός ρύπανση είχε σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία, οδηγώντας σε μετεγκατάσταση δεκάδων χιλιάδων κατοίκων. Η περιοχή κατά μήκος της λεγόμενης East Ural Radioactive Trace (EURT)

παραμένει έως σήμερα περιορισμένη για ανθρώπινη δραστηριότητα. Το ατύχημα ανέδειξε την ανάγκη για διαφάνεια, υπεύθυνη διαχείριση αποβλήτων και αυστηρά μέτρα ασφαλείας σε πυρηνικές εγκαταστάσεις.



εικόνα 5: χάρτης του ραδιενεργού ίχνους των ανατολικών ουραλίων: περιοχή μολυσμένη από την καταστροφή του Kyshtym (wikipedia.org, Kyshtym disaster)

3.2.2 Windscale Piles Fire (1957)

Το ατύχημα του Windscale, γνωστό και ως Windscale Piles Fire, σημειώθηκε στις 10 Οκτωβρίου 1957 στο Cumbria του Ηνωμένου Βασιλείου και αποτελεί το πρώτο σοβαρό πυρηνικό ατύχημα αντιδραστήρα στη Δυτική Ευρώπη. Η φωτιά ξέσπασε στον πυρήνα ενός από τους δύο σωρούς γραφίτη του αντιδραστήρα Windscale Pile No. 1, ο οποίος είχε σχεδιαστεί για την παραγωγή πλουτωνίου για στρατιωτικούς σκοπούς [27].

Αιτίες:

Η πυρκαγιά προκλήθηκε από υπερθέρμανση του γραφίτη λόγω δυσλειτουργίας στο σύστημα ψύξης, κατά τη διάρκεια ενός πειράματος «ανόρθωσης» (annealing) για την ανανέωση της κρυσταλλικής δομής του γραφίτη. Η αδυναμία έγκαιρης αναγνώρισης της ανόδου της θερμοκρασίας και η απουσία αποτελεσματικών μηχανισμών καταστολής συνέβαλαν στην ανάφλεξη του υλικού στον πυρήνα του αντιδραστήρα.

Άμεσες συνέπειες:

Η φωτιά οδήγησε σε εκτεταμένη απελευθέρωση ραδιενεργών ισοτόπων, κυρίως ιωδίου-131, στον αέρα. Η ραδιενεργός μόλυνση επηρέασε κυρίως την ευρύτερη περιοχή και οδήγησε σε καταστροφή αποθεμάτων γάλακτος σε μεγάλες ποσότητες για να προστατευθεί ο πληθυσμός. Το περιστατικό δεν κοινοποιήθηκε αμέσως στο κοινό, καθώς οι αρχές προσπάθησαν να το διαχειριστούν εσωτερικά, περιορίζοντας τις πληροφορίες.

Μακροπρόθεσμα αποτελέσματα:

Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις περιλάμβαναν ενίσχυση των μέτρων παρακολούθησης ακτινοβολίας, βελτίωση των πρωτοκόλλων ασφαλείας, καθώς και τον οριστικό παροπλισμό του αντιδραστήρα Windscale Pile 1. Το ατύχημα αποτέλεσε καθοριστικό σημείο για τη μετάβαση από στρατιωτικής χρήσης αντιδραστήρες σε αυστηρότερα ρυθμιζόμενες πολιτικές εφαρμογές.

Τα πυρηνικά ατυχήματα, όπως εκείνα του Kyshtym και του Windscale, ανέδειξαν την έλλειψη διαφάνειας, τις τεχνικές ανεπάρκειες και την ανάγκη για διεθνώς αποδεκτά πρότυπα ασφαλείας. Παρά τις προόδους στον σχεδιασμό αντιδραστήρων και στην κανονιστική εποπτεία, η συνεχής εγρήγορση, η διεθνής συνεργασία και η συστηματική εκπαίδευση των εμπλεκόμενων παραμένουν απαραίτητες για την ασφαλή και βιώσιμη ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας.

3.2.3 Το Ατύχημα στο Three Mile Island (TMI, 1979)

Το πυρηνικό ατύχημα στον σταθμό Three Mile Island (TMI) σημειώθηκε στις 28 Μαρτίου 1979 στην πολιτεία Πενσυλβάνια των Ηνωμένων Πολιτειών και αποτελεί το σοβαρότερο πυρηνικό ατύχημα στην ιστορία των ΗΠΑ. Το περιστατικό συνέβη στον αντιδραστήρα μονάδας 2 (TMI-2) και οδήγησε σε μερική τήξη του πυρήνα του αντιδραστήρα, προκαλώντας σημαντική αναστάτωση στη δημόσια αντίληψη για την πυρηνική ενέργεια. [\[27\]](#).

Αιτίες:

Το ατύχημα προκλήθηκε από συνδυασμό τεχνικών βλαβών, ανθρώπινων σφαλμάτων και σχεδιαστικών αδυναμιών. Συγκεκριμένα, μια δυσλειτουργία στη βαλβίδα ανακούφισης πίεσης προκάλεσε διαρροή ψυκτικού νερού, ενώ η

ελλιπής ένδειξη στον πίνακα ελέγχου οδήγησε τους χειριστές σε λανθασμένες εκτιμήσεις της κατάστασης. Η αποτυχία τους να αναγνωρίσουν το πραγματικό πρόβλημα είχε ως αποτέλεσμα τη μερική τήξη του πυρήνα και την εσωτερική μόλυνση του συστήματος με ραδιενεργά υλικά [27].

Άμεσες συνέπειες:

Το περιστατικό οδήγησε σε απελευθέρωση μικρών ποσοτήτων ραδιενεργών αερίων, κυρίως ξένου και ιωδίου-131, χωρίς ωστόσο να αναφερθούν άμεσοι θάνατοι ή τραυματισμοί που να αποδίδονται στην ακτινοβολία. Παρά το περιορισμένο ραδιενεργό φορτίο, προκάλεσε τεράστια ανησυχία στο κοινό και ευρεία δημοσιότητα, πυροδοτώντας κοινωνικό και πολιτικό διάλογο γύρω από την ασφάλεια της πυρηνικής ενέργειας.

Μακροπρόθεσμα αποτελέσματα:

Οι επιπτώσεις του ατυχήματος TMI υπήρξαν καθοριστικές για την εξέλιξη των ρυθμιστικών πλαισίων στις ΗΠΑ και παγκοσμίως. Η Ρυθμιστική Επιτροπή Πυρηνικών (NRC) προχώρησε σε αναθεώρηση των κανονισμών, ενίσχυσε τους μηχανισμούς επιθεώρησης και υιοθέτησε νέα πρωτόκολλα ετοιμότητας έκτακτης ανάγκης. Επιπλέον, το ατύχημα επηρέασε σημαντικά την κοινή γνώμη, οδηγώντας σε αναστολή νέων αδειοδοτήσεων για αρκετά χρόνια και ενισχύοντας το κίνημα κατά της πυρηνικής ενέργειας στις ΗΠΑ.

Μεταρρυθμίσεις και Επιπτώσεις του Ατυχήματος στο Three Mile Island (TMI)

Το ατύχημα στο Three Mile Island αποτέλεσε σημείο καμπής για τη ρυθμιστική πολιτική στις Ηνωμένες Πολιτείες, ασκώντας καταλυτική επιρροή τόσο στην πυρηνική βιομηχανία όσο και στον ρόλο της Ρυθμιστικής Επιτροπής Πυρηνικών (NRC). Ένας συνδυασμός ανθρώπινων σφαλμάτων, τεχνικών αδυναμιών και σχεδιαστικών παραλείψεων οδήγησε στο περιστατικό, το οποίο ενίσχυσε τη δυσπιστία της κοινής γνώμης και υποχρέωσε το NRC να αναθεωρήσει ριζικά τη ρυθμιστική του προσέγγιση.

Η εις βάθος διερεύνηση των αιτίων του ατυχήματος αποκάλυψε συστημικά προβλήματα στη διαχείριση, την εποπτεία και τον τεχνικό σχεδιασμό, τα οποία με τη σειρά τους οδήγησαν σε εκτεταμένες και μόνιμες μεταρρυθμίσεις.

3.2.4 Η Καταστροφή του Τσερνόμπιλ (1986)

Η καταστροφή του Τσερνόμπιλ, που σημειώθηκε στις 26 Απριλίου 1986, αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα πυρηνικά ατυχήματα στην ιστορία της ανθρωπότητας. Η έκρηξη στον αντιδραστήρα 4 του πυρηνικού σταθμού Τσερνόμπιλ, κοντά στην πόλη Πρίπιατ της τότε Σοβιετικής Ουκρανίας, είχε ως αποτέλεσμα την εκτεταμένη απελευθέρωση ραδιενεργού υλικού στην ατμόσφαιρα, με σοβαρές άμεσες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στην υγεία, το περιβάλλον και την κοινωνική συνοχή[27].

Αίτια του ατυχήματος:

Το ατύχημα προκλήθηκε από συνδυασμό επιχειρησιακών σφαλμάτων, ανεπαρκούς κατάρτισης και κρίσιμων σχεδιαστικών αδυναμιών στον τύπο αντιδραστήρα RBMK-1000 [27].

Η Διεθνής Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας (ΙΑΕΑ), μετά από επανεκτίμηση του ατυχήματος το 1992, εντόπισε τους εξής κύριους τεχνικούς και λειτουργικούς παράγοντες:

- Θετικός συντελεστής κενού: Οι RBMK αντιδραστήρες είχαν επικίνδυνα υψηλό θετικό συντελεστή κενού, πράγμα που σήμαινε ότι η παρουσία φυσαλίδων ατμού στο νερό ψύξης αύξανε την ισχύ του αντιδραστήρα αντί να τη μειώνει — σε αντίθεση με τη σχεδίαση των περισσότερων δυτικών αντιδραστήρων.
- Ράβδοι ελέγχου με άκρα από γραφίτη: Κατά την εισαγωγή των ράβδων στο αντιδραστήρα, ο γραφίτης προκαλούσε αρχική αύξηση της ισχύος, προτού αρχίσει η μείωσή της — φαινόμενο άγνωστο στους χειριστές εκείνη την περίοδο.
- Γενικές σχεδιαστικές ατέλειες: Ο RBMK-1000 δεν πληρούσε τα διεθνώς αποδεκτά πρότυπα πυρηνικής ασφάλειας, παρουσιάζοντας σημαντικά δομικά και λειτουργικά ελαττώματα, ιδιαίτερα σε καταστάσεις εκτός ομαλής λειτουργίας.

Άμεσες Συνέπειες

Οι άμεσες επιπτώσεις του ατυχήματος ήταν δραματικές:

- Θάνατοι εργαζομένων και πρώτων ανταποκριτών από οξεία ακτινοβολία.
- Εκτεταμένη μόλυνση από ραδιενεργό ιώδιο-131, καίσιο-137 και στρόντιο-90.
- Εκκένωση περίπου 116.000 κατοίκων από τη ζώνη των 30 χιλιομέτρων γύρω από τον σταθμό.
- Προσωρινή συγκάλυψη του συμβάντος από τις σοβιετικές αρχές, γεγονός που καθυστέρησε τα διεθνή μέτρα αντίδρασης.

Μακροπρόθεσμες Επιπτώσεις

Οι επιπτώσεις του Τσερνόμπιλ παραμένουν ορατές δεκαετίες μετά το συμβάν:

- Αυξημένα περιστατικά καρκίνου του θυρεοειδούς, ιδιαίτερα σε παιδιά και εφήβους που εκτέθηκαν σε ιώδιο-131.
- Γενετικές ανωμαλίες και ψυχολογικά τραύματα σε πληγέντες πληθυσμούς.
- Μόνιμη περιβαλλοντική υποβάθμιση στη ζώνη αποκλεισμού των 2.600 τετραγωνικών χιλιομέτρων.
- Η περιοχή παραμένει ακατοίκητη, αν και αποτελεί πλέον πεδίο επιστημονικής μελέτης και μνημείο καταστροφής.



εικόνα 6: Η καταστροφή του Τσερνόμπιλ (Left.gr 2023)

3.2.5 Tokaimura, Ιαπωνία (1999)

Το πυρηνικό ατύχημα στην Tokaimura της Ιαπωνίας σημειώθηκε στις 30 Σεπτεμβρίου 1999 και θεωρείται ένα από τα σοβαρότερα συμβάντα κρίσιμης κατάστασης (criticality accident) που έχουν καταγραφεί σε μη-αντιδραστηριακό περιβάλλον. Το περιστατικό συνέβη σε μια μικρής κλίμακας μονάδα παραγωγής πυρηνικού καυσίμου της εταιρείας JCO (Japan Nuclear Fuel Conversion Co.), θυγατρική της Sumitomo Metal Mining Co.. Η εγκατάσταση εξυπηρετούσε ερευνητικούς και πειραματικούς ταχείς αντιδραστήρες και δεν εντασσόταν στον κύκλο καυσίμου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [28].

Τεχνικό Ιστορικό και Συνθήκες

Η μονάδα, σε λειτουργία από το 1988, επεξεργαζόταν ετησίως έως και 3 τόνους ουρανίου εμπλουτισμένου μέχρι και 20% σε U-235, επίπεδο σημαντικά υψηλότερο από το συνήθως χρησιμοποιούμενο ($\approx 3-5\%$) σε εμπορικούς αντιδραστήρες ισχύος. Στις 30 Σεπτεμβρίου 1999, τρεις χειριστές εκτελούσαν χειροκίνητα την παρασκευή καυσίμου για τον πειραματικό ταχύ αναπαραγωγικό αντιδραστήρα Joyo, χρησιμοποιώντας ουράνιο εμπλουτισμένο σε 18,8%.

Κατά την προετοιμασία του καυσίμου, μεταφέρθηκε διάλυμα ουρανίου σε δεξαμενή καθίζησης χωρίς τήρηση βασικών πρωτοκόλλων ασφάλειας. Όταν ο όγκος έφτασε περίπου τα 40 λίτρα, με συνολικά 16 κιλά U-235, επετεύχθη κρίσιμη μάζα, προκαλώντας ανεξέλεγκτη αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης.

Εξέλιξη του Συμβάντος

Η κρίσιμη κατάσταση έγινε αυτοσυντηρούμενη, με έντονη εκπομπή νετρονίων και ακτινοβολίας γάμα, χωρίς όμως έκρηξη. Το φαινόμενο διήρκεσε περιστασιακά για περίπου 20 ώρες, καθώς ο βρασμός του διαλύματος δημιουργούσε προσωρινές φυσαλίδες (κενά), που μείωναν την κρίσιμη μάζα, αλλά η επανεμφάνιση πυκνού υγρού προκαλούσε επαναφορά της αντίδρασης. Η διαδικασία σταθεροποιήθηκε οριστικά όταν αφαιρέθηκε το νερό ψύξης που λειτουργούσε ως ανακλαστήρας νετρονίων και προστέθηκε διάλυμα βορικού οξέος για την απορρόφηση νετρονίων [28].

Επιπτώσεις

- Ραδιενεργός έκθεση: Τουλάχιστον 27 εργαζόμενοι εκτέθηκαν σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας. Οι δύο χειριστές υπέστησαν θανατηφόρες δόσεις και υπέκυψαν λίγους μήνες αργότερα.
- Περιβαλλοντική απελευθέρωση: Αν και δεν σημειώθηκε διασπορά μεγάλων ποσοτήτων ραδιενέργειας, εντοπίστηκε ιώδιο-131 στο περιβάλλον μέσω του συστήματος εξαερισμού, το οποίο είχε απενεργοποιηθεί εκείνη την ημέρα για λόγους παθητικής απομόνωσης.
- Εκκένωση πληθυσμού: Πέντε ώρες μετά την κρίσιμη κατάσταση, 161 κάτοικοι εκκενώθηκαν από ακτίνα 350 μέτρων, ενώ περιορισμοί ισχύσαν για ευρύτερη περιοχή 10 χιλιομέτρων, με οδηγία για παραμονή σε εσωτερικούς χώρους.
- Περιορισμός ακτινοβολίας: Ενισχυμένα μέτρα, όπως τοποθέτηση σάκων άμμου και θωράκισης, εφαρμόστηκαν ώστε να επιτραπεί ασφαλής επιστροφή των κατοίκων δύο ημέρες αργότερα.

Αίτια και Συστημικές Αποτυχίες

- Ανεπαρκής εκπαίδευση: Οι εργαζόμενοι δεν είχαν εκπαιδευτεί για τον χειρισμό υψηλού εμπλουτισμού ουρανίου.
- Παραβίαση διαδικασιών: Χρησιμοποιήθηκαν μη εγκεκριμένες μέθοδοι, που ήταν μεν γνωστές από προηγούμενες χρήσεις, αλλά ασφαλείς μόνο για ουράνιο κάτω του 5% εμπλουτισμού.
- Έλλειψη κανονιστικής εποπτείας: Το ατύχημα αποκάλυψε σοβαρές ελλείψεις στον ιαπωνικό κανονιστικό μηχανισμό, ο οποίος δεν επέτρεπε επαρκώς τις μη-αντιδραστηριακές μονάδες.

Το ατύχημα στην Tokaimura ανέδειξε τους κινδύνους χειρισμών εμπλουτισμένου ουρανίου εκτός αντιδραστήρα, και την ανάγκη για:

- Αυστηρό κανονιστικό έλεγχο, ακόμα και σε βοηθητικές μονάδες.
- Εκτενή εκπαίδευση προσωπικού για κάθε πιθανό σενάριο.

- Διασφάλιση κρίσιμων παραμέτρων όπως η γεωμετρία δοχείων και η συγκέντρωση πυρηνικού υλικού.

Η υπόθεση οδήγησε σε ριζικές αλλαγές στο ρυθμιστικό πλαίσιο της Ιαπωνίας και κατέδειξε την ευθραυστότητα των μέτρων ασφαλείας σε μη-αντιδραστήριες εφαρμογές της πυρηνικής τεχνολογίας [\[28\]](#).

3.2.6 Η Πυρηνική καταστροφή Fukushima Daiichi (2011)

Η πυρηνική καταστροφή της Fukushima Daiichi, που σημειώθηκε στις 11 Μαρτίου 2011, αποτελεί μία από τις πιο σοβαρές καταστροφές στην ιστορία της πυρηνικής ενέργειας. Προκλήθηκε από τον ισχυρό σεισμό μεγέθους 9.0 της κλίμακας Ρίχτερ και το επακόλουθο τσουνάμι που έπληξε την ανατολική ακτή της Ιαπωνίας, επηρεάζοντας κρίσιμα την πυρηνική εγκατάσταση Fukushima Daiichi, στην επαρχία Φουκουσίμα. [\[27\]](#).

Αιτίες:

Η καταστροφή προέκυψε από συνδυασμό φυσικών και τεχνικών παραγόντων:

- Ο σεισμός προκάλεσε αυτόματο τερματισμό λειτουργίας των αντιδραστήρων του σταθμού.
- Το τσουνάμι που ακολούθησε υπέρβη τα προδιαγεγραμμένα ύψη προστασίας και κατέστρεψε τις εφεδρικές γεννήτριες ντίζελ, που ήταν ζωτικής σημασίας για τη συνέχιση της ψύξης των πυρήνων μετά την παύση λειτουργίας.
- Η απώλεια τροφοδοσίας οδήγησε σε αδυναμία απομάκρυνσης της θερμότητας, προκαλώντας υπέρθερμανση, μερική τήξη στους αντιδραστήρες 1, 2 και 3, καθώς και απελευθέρωση ραδιενεργών ρύπων.

Άμεσες συνέπειες:

- Εκκένωση πληθυσμού: Περισσότεροι από 150.000 κάτοικοι απομακρύνθηκαν από την ευρύτερη περιοχή της Φουκουσίμα.
- Ραδιενεργή μόλυνση: Εντοπίστηκε μόλυνση σε αποθέματα τροφίμων και πόσιμου νερού, καθώς και εκλύσεις ραδιενεργών υλικών στον Ειρηνικό Ωκεανό, προκαλώντας διεθνείς ανησυχίες.

- Καταστροφή δημόσιας εμπιστοσύνης: Το ατύχημα κλόνισε την εμπιστοσύνη του κοινού προς την πυρηνική τεχνολογία και έθεσε ερωτήματα για τη διαχείριση κρίσεων από τη διαχειρίστρια εταιρεία TEPCO.

Μακροπρόθεσμα αποτελέσματα:

- Υγειονομικές επιπτώσεις: Δεν καταγράφηκαν άμεσοι θάνατοι από έκθεση σε ακτινοβολία, αλλά οι μακροπρόθεσμοι κίνδυνοι για την υγεία, ιδίως καρκίνος του θυρεοειδούς, παραμένουν υπό παρακολούθηση.
- Οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες: Η καταστροφή επέφερε τεράστιο οικονομικό κόστος, περιορισμούς στη γεωργία και την αλιεία και εκτεταμένο ψυχολογικό τραύμα στους πληγέντες πληθυσμούς.
- Παροπλισμός και διαχείριση αποβλήτων: Η διαδικασία απενεργοποίησης και παροπλισμού του σταθμού Fukushima Daiichi θεωρείται εξαιρετικά περίπλοκη και χρονοβόρα, με χρονικό ορίζοντα πολλών δεκαετιών.
- Αλλαγές πολιτικής: Το συμβάν επαναπροσδιόρισε την ενεργειακή στρατηγική της Ιαπωνίας, οδηγώντας σε προσωρινό κλείσιμο όλων των αντιδραστήρων της χώρας και αυστηροποίηση των ρυθμιστικών ελέγχων σε διεθνές επίπεδο.

Η καταστροφή της Fukushima υπογράμμισε τη δυναμική αλληλεπίδραση φυσικών κινδύνων και τεχνολογικών συστημάτων, αποδεικνύοντας την ανάγκη για:

- Ενίσχυση του σχεδιασμού ασφάλειας έναντι φυσικών καταστροφών.
- Επαναπροσδιορισμό των διαδικασιών εκτάκτου ανάγκης.
- Διαφάνεια στη διαχείριση κρίσεων και ενίσχυση της εμπιστοσύνης του κοινού.

Παρά τις σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις, η περίπτωση της Fukushima επιβεβαιώνει ότι η πυρηνική ασφάλεια παραμένει ζήτημα πολυεπίπεδου κινδύνου, απαιτώντας διεθνή συνεργασία, τεχνική επάρκεια και συνεχή επαγρύπνηση.



εικόνα 7:εικόνα από την έκρηξη στο εργοστάσιο (tonima.gr 2025)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΣ ΑΣΚΗΣΗ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

4.1 Διπλωματία και Συμμαχίες: Η Πυρηνική Ενέργεια ως Μέσο Διπλωματίας και Διεθνούς Συνεργασίας.

Η πυρηνική ενέργεια αποτελεί ένα από τα πλέον στρατηγικά εργαλεία της σύγχρονης διεθνούς πολιτικής και διπλωματίας. Χρησιμοποιείται από κράτη όχι μόνο για την παραγωγή ενέργειας, αλλά και ως μέσο ενίσχυσης της επιρροής τους, της τεχνολογικής συνεργασίας και της διαμόρφωσης στρατηγικών συμμαχιών.

1. Παροχή Πυρηνικής Τεχνολογίας και Υποδομών

Κράτη με ανεπτυγμένη τεχνογνωσία στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας, όπως η Ρωσία και η Γαλλία, χρησιμοποιούν την εξαγωγή πυρηνικών αντιδραστήρων και τεχνολογίας ως εργαλείο ενίσχυσης των διπλωματικών και οικονομικών τους σχέσεων. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η ρωσική κρατική εταιρεία Rosatom, η οποία έχει υπογράψει συμφωνίες για την κατασκευή πυρηνικών σταθμών σε πολλές χώρες, όπως η Τουρκία και το Ιράν, ενισχύοντας έτσι τους γεωπολιτικούς της δεσμούς.

2. Συμμετοχή σε Διεθνείς Οργανισμούς και Πρωτοβουλίες

Η ενεργή συμμετοχή κρατών σε οργανισμούς όπως η Διεθνής Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας (ΙΑΕΑ) και σε πρωτοβουλίες όπως η Συνθήκη για τη Μη Διάδοση των Πυρηνικών Όπλων (NPT), ενισχύει τη διεθνή τους εικόνα και συμβάλλει στην εδραίωση σχέσεων βασισμένων σε κοινές αξίες ειρήνης, ασφάλειας και διαφάνειας.

3. Εκπαιδευτικά Προγράμματα και Ανταλλαγή Επιστημόνων

Ένας ακόμη σημαντικός τομέας συνεργασίας αφορά την εκπαίδευση και την ανταλλαγή επιστημόνων. Μέσω διμερών και πολυμερών προγραμμάτων εκπαίδευσης, οι χώρες οικοδομούν σχέσεις εμπιστοσύνης και δημιουργούν μακροπρόθεσμους επιστημονικούς δεσμούς, οι οποίοι ενισχύουν την τεχνολογική και επιστημονική συνεργασία.

Πολιτική και Διπλωματική Αξία της Πυρηνικής Ενέργειας

Αν και η πυρηνική ενέργεια είναι ευρέως γνωστή για την εφαρμογή της στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελεί ταυτόχρονα ένα πολύπλευρο εργαλείο διεθνούς πολιτικής. Μέσω της πυρηνικής τεχνολογίας, τα κράτη ενισχύουν τις διμερείς και πολυμερείς τους σχέσεις, ενδυναμώνοντας τη θέση τους στο παγκόσμιο γεωπολιτικό πεδίο.

Η πυρηνική συνεργασία συνεισφέρει στην οικοδόμηση εμπιστοσύνης και στην προώθηση της ειρηνικής χρήσης της τεχνολογίας, μέσω κοινών ερευνητικών έργων και μεταφοράς τεχνογνωσίας. Αυτή η τεχνολογική σύμπραξη λειτουργεί ως καταλύτης για την πολιτική σταθερότητα, την οικονομική ανάπτυξη και την προώθηση της παγκόσμιας ασφάλειας.

Η πυρηνική ενέργεια αναδεικνύεται σε ένα ισχυρό εργαλείο άσκησης εξωτερικής πολιτικής και διπλωματίας. Μέσω της τεχνολογικής συνεργασίας, της δημιουργίας στρατηγικών συμμαχιών και της συμμετοχής σε διεθνείς θεσμούς, τα κράτη αξιοποιούν την πυρηνική ενέργεια για να ενισχύσουν την επιρροή τους στη διεθνή σκηνή και να διαμορφώσουν τις εξελίξεις στον τομέα της ασφάλειας και της ειρήνης [\[69\]](#).

4.1.1 Σχηματισμός και Ενίσχυση Συμμαχιών μέσω της Πυρηνικής Ενέργειας

Ο σχηματισμός και η ενίσχυση συμμαχιών μέσω της πυρηνικής ενέργειας αποτελεί ένα σύνθετο και ιδιαίτερα σημαντικό πεδίο που αγγίζει διάφορες πτυχές της διεθνούς πολιτικής, της οικονομίας και της ασφάλειας. Ακολουθούν βασικές διαστάσεις αυτής της δυναμικής:

- **Πολιτικές και Διπλωματικές Πτυχές**

Η πυρηνική ενέργεια μπορεί να λειτουργήσει ως μοχλός ενίσχυσης των διπλωματικών σχέσεων μεταξύ κρατών. Η συνεργασία σε πυρηνικά προγράμματα δημιουργεί δεσμούς εμπιστοσύνης, προάγει τη σταθερότητα και ενδυναμώνει τις διεθνείς σχέσεις [\[29\]](#).

• Τεχνολογική Συνεργασία

Η συνεργασία σε θέματα πυρηνικής τεχνολογίας περιλαμβάνει την ανταλλαγή τεχνογνωσίας και την από κοινού ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών. Μέσω αυτών των συνεργειών, ενισχύονται οι τεχνικές δυνατότητες των εμπλεκόμενων χωρών και επιταχύνεται η πρόοδος των πυρηνικών τους προγραμμάτων [29].

• Οικονομικές Πτυχές

Η πυρηνική ενέργεια συμβάλλει στην οικονομική ανάπτυξη μέσω της δημιουργίας θέσεων εργασίας, της ενίσχυσης της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ανάπτυξης σχετικών βιομηχανιών. Οι χώρες που συνεργάζονται σε αυτόν τον τομέα μπορούν να αξιοποιήσουν από κοινού πόρους και υποδομές, ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητά τους στις διεθνείς αγορές [29].

• Διμερείς Συνεργασίες

Οι διμερείς συμφωνίες πυρηνικής συνεργασίας αποτελούν θεμέλιο για την ανάπτυξη στρατηγικών συμμαχιών. Τέτοιες συμφωνίες προωθούν τη συνεργασία σε κρίσιμα πεδία όπως η ενεργειακή ασφάλεια, η τεχνολογική εξέλιξη και η περιβαλλοντική προστασία [29]. Κράτη με ισχυρή πυρηνική τεχνογνωσία, όπως οι ΗΠΑ, η Ρωσία και η Γαλλία, αξιοποιούν αυτή την τεχνογνωσία για τη δημιουργία δεσμών με αναπτυσσόμενες χώρες ή γεωστρατηγικά σημαντικούς εταίρους.

• Γεωπολιτικές Στρατηγικές και Συμμαχίες

Η πυρηνική ενέργεια κατέχει σημαντική θέση στις γεωπολιτικές στρατηγικές των κρατών, αποτελώντας εργαλείο επιρροής και διαμόρφωσης ισχυρών διεθνών συμμαχιών. Βασικές στρατηγικές περιλαμβάνουν:

1. **Ανάπτυξη στρατηγικών συμμαχιών:** Κράτη όπως η Ρωσία και η Κίνα προωθούν τη συνεργασία με άλλες χώρες προσφέροντας τεχνολογική και οικονομική υποστήριξη για την κατασκευή πυρηνικών σταθμών.
2. **Διεύρυνση γεωπολιτικής επιρροής:** Μέσω της πυρηνικής τεχνολογίας, οι χώρες-προμηθευτές αποκτούν ισχυρότερο ρόλο και σε άλλους τομείς, όπως η στρατιωτική συνεργασία, οι υποδομές και οι εμπορικές σχέσεις [29].

4.1.2 Παραδείγματα χωρών και συμμαχιών

Πολυάριθμες χώρες έχουν αξιοποιήσει την πυρηνική ενέργεια ως μέσο ενίσχυσης διμερών και γεωπολιτικών σχέσεων. Παρακάτω παρατίθενται χαρακτηριστικές περιπτώσεις στρατηγικών συνεργασιών στον τομέα της πυρηνικής τεχνολογίας:

- **Συνεργασία ΗΠΑ-Τουρκίας:** Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν εκδηλώσει ενδιαφέρον για την πώληση πυρηνικών αντιδραστήρων στην Τουρκία, στο πλαίσιο της ενίσχυσης των διμερών τους σχέσεων στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας. Η Τουρκία έχει εκφράσει πρόθεση εξαγοράς αμερικανικής τεχνολογίας, επιδιώκοντας την ενίσχυση της ενεργειακής της επάρκειας(όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 6 στην υποενότητα 6.4) [\[52\]](#).
- **Συνεργασία ανάμεσα στον Καναδά και την Ινδία:** Ο Καναδάς και η Ινδία έχουν συνάψει συμφωνία πυρηνικής συνεργασίας με στόχο την ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Η συνεργασία αυτή βασίζεται στην ανταλλαγή τεχνογνωσίας και στην ενίσχυση της ενεργειακής υποδομής της Ινδίας, προάγοντας παράλληλα τη διεθνή εμπιστοσύνη και διαφάνεια(περισσότερες πληροφορίες αναφέρονται στο 6 κεφάλαιο και στην ενότητα 6.8) [\[56\]](#).
- **Συνεργασία Ιράν-Ρωσίας:**
Η Ρωσία και το Ιράν έχουν εδραιώσει συνεργασία στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας μέσω της κατασκευής δύο νέων πυρηνικών μονάδων στην πόλη Μπουσέχρ του Ιράν. Η συμφωνία αυτή ενισχύει τη στρατηγική σχέση των δύο χωρών και αναδεικνύει τον ρόλο της Ρωσίας ως βασικού προμηθευτή πυρηνικής τεχνολογίας(Περισσότερα για τη συγκεκριμένη συμφωνία αναφέρονται στο 6^ο κεφάλαιο και στην υποενότητα 6.5) [\[53\]](#).

4.1.3 Προκλήσεις και κίνδυνοι της πυρηνικής ενέργειας

Προκλήσεις και Κίνδυνοι της Πυρηνικής Ενέργειας

Παρά τα σημαντικά οφέλη της, η πυρηνική ενέργεια συνοδεύεται από σοβαρές προκλήσεις και κινδύνους που αφορούν την ασφάλεια, το περιβάλλον, την

οικονομία και τη γεωπολιτική σταθερότητα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότερες από αυτές:

1. Ασφάλεια και Μη Διάδοση Πυρηνικών Όπλων

Η διατήρηση της ασφάλειας και η αποτροπή της διάδοσης πυρηνικών όπλων αποτελούν θεμελιώδεις προϋποθέσεις για την παγκόσμια ειρήνη. Αν και η πυρηνική τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ειρηνικούς σκοπούς, η κακή διαχείριση ή η κακόβουλη χρήση της εγκυμονεί κινδύνους παγκόσμιας εμβέλειας.

Βασικοί Μηχανισμοί και Συμφωνίες:

- **Συνθήκη Μη Διάδοσης Πυρηνικών Όπλων (NPT):**
Υπογράφηκε το 1968 και τέθηκε σε ισχύ το 1970 η οποία αποσκοπεί: Στην αποτροπή της εξάπλωσης των πυρηνικών όπλων, στην προώθηση του πυρηνικού αφοπλισμού, στην ενθάρρυνση της ειρηνικής χρήσης της πυρηνικής ενέργειας μέσω διεθνούς συνεργασίας. Οι χώρες χωρίς πυρηνικά όπλα δεσμεύονται να μην τα αποκτήσουν, ενώ οι χώρες που τα κατέχουν, να μην τα μεταφέρουν ή διαθέσουν.
- **Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (ΙΑΕΑ):**
Ιδρύθηκε το 1957 με στόχο: Την προώθηση της ειρηνικής χρήσης της πυρηνικής ενέργειας, την αποτροπή της στρατιωτικής της εφαρμογής. Ο ΙΑΕΑ διενεργεί επιθεωρήσεις, ελέγχει εγκαταστάσεις και διασφαλίζει ότι η τεχνολογία δεν χρησιμοποιείται για την κατασκευή όπλων.
- **Συμφωνία για την Απαγόρευση Πυρηνικών Δοκιμών (CTBT):**
Υπογράφηκε το 1996 και απαγορεύει όλες τις πυρηνικές εκρήξεις, στρατιωτικές και μη. Αν και δεν έχει ακόμη τεθεί σε πλήρη ισχύ, έχει συμβάλει ουσιαστικά στον περιορισμό των πυρηνικών δοκιμών σε παγκόσμιο επίπεδο.
- **Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι**

Η πυρηνική ενέργεια, παρά τα πλεονεκτήματά της, ενέχει σοβαρούς περιβαλλοντικούς κινδύνους. Τα πυρηνικά ατυχήματα και οι διαδικασίες εξόρυξης ή διαχείρισης των ραδιενεργών υλικών μπορούν να έχουν μακροχρόνιες επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Η

πρόληψη και διαχείριση τέτοιων κινδύνων απαιτεί την εφαρμογή αυστηρών προτύπων ασφαλείας και συνεχή τεχνολογική πρόοδο.

Κύριοι Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι:

1. **Ραδιενεργός Μόλυνση:** Τα πυρηνικά ατυχήματα, όπως το ατύχημα του Τσερνόμπιλ, είχαν ως αποτέλεσμα τη μαζική απελευθέρωση ραδιενεργών υλικών στο περιβάλλον. Οι συνέπειες περιλαμβάνουν τη μόλυνση του εδάφους, των υδάτων και της ατμόσφαιρας, με σοβαρές οικολογικές και υγειονομικές επιπτώσεις.
2. **Εξόρυξη και Επεξεργασία Ουρανίου:** Το ουράνιο, βασικό καύσιμο των πυρηνικών αντιδραστήρων, απαιτεί διαδικασίες εξόρυξης και επεξεργασίας που είναι ιδιαίτερα επιβλαβείς για το περιβάλλον. Οι δραστηριότητες αυτές μπορούν να προκαλέσουν ρύπανση με τοξικά και ραδιενεργά υλικά σε υδάτινους πόρους και εδαφικά στρώματα.
3. **Μακροπρόθεσμες Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις:** Η έκθεση σε ραδιενέργεια μπορεί να έχει μακροπρόθεσμες επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στη βιοποικιλότητα. Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν αυξημένο κίνδυνο καρκίνου, γενετικές ανωμαλίες, καθώς και καταστροφή οικοσυστημάτων.

1. Κοινωνικές και Πολιτικές Προκλήσεις

Η ανάπτυξη και χρήση της πυρηνικής ενέργειας δεν συνοδεύεται μόνο από τεχνικές ή οικονομικές δυσκολίες, αλλά και από σημαντικές κοινωνικές και πολιτικές προκλήσεις, οι οποίες επηρεάζουν την αποδοχή, τη σταθερότητα και τη βιωσιμότητα της τεχνολογίας σε κάθε χώρα.

Κοινωνικές Προκλήσεις

1. Δημόσια Αποδοχή και Κοινωνικές Αντιλήψεις

Ο φόβος για ενδεχόμενα πυρηνικά ατυχήματα και η δυσπιστία σχετικά με τη διαχείριση των ραδιενεργών αποβλήτων καθιστούν την πυρηνική ενέργεια αντικείμενο έντονου κοινωνικού διαλόγου. Η έλλειψη επαρκούς ενημέρωσης ενισχύει την αμφισβήτηση και την αντίσταση από την κοινή γνώμη.

2. Ανησυχίες για την Υγεία και το Περιβάλλον

Οι αντιλήψεις για τις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της ραδιενέργειας, όπως ο καρκίνος ή οι γενετικές ανωμαλίες, επηρεάζουν αρνητικά την κοινωνική αποδοχή της πυρηνικής ενέργειας. Παράλληλα, υπάρχει έντονη ανησυχία για την περιβαλλοντική υποβάθμιση και την καταστροφή οικοσυστημάτων.

3. Έλλειψη Διαφάνειας

Η περιορισμένη πρόσβαση του κοινού σε πληροφορίες για τη λειτουργία πυρηνικών εγκαταστάσεων και η αδιαφάνεια εκ μέρους κυβερνήσεων και εταιρειών μπορούν να οδηγήσουν σε απώλεια εμπιστοσύνης και κοινωνικές εντάσεις.

Πολιτικές Προκλήσεις

2. Γεωπολιτικές Εντάσεις Πολιτική Σταθερότητα και Ασφάλεια

Η λειτουργία πυρηνικών εγκαταστάσεων απαιτεί ισχυρή θεσμική σταθερότητα, νομική κάλυψη και αποτελεσματικά συστήματα ασφαλείας. Σε χώρες με πολιτική αστάθεια, αυξάνεται ο κίνδυνος ατυχημάτων, παραβιάσεων ασφαλείας ή και εσκεμμένων επιθέσεων.

• Διαμόρφωση Κατάλληλων Πολιτικών Πλαισίων

Οι κυβερνήσεις καλούνται να θεσπίσουν πολιτικές που διασφαλίζουν την ασφαλή και υπεύθυνη χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Αυτό περιλαμβάνει επενδύσεις στην έρευνα, την εκπαίδευση, τη διαφάνεια, και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών

3. Γεωπολιτικές Εντάσεις

Η πυρηνική ενέργεια αποτελεί πηγή γεωπολιτικών εντάσεων, καθώς μπορεί να επηρεάσει την ισορροπία δυνάμεων, την ενεργειακή επάρκεια και τη συνολική παγκόσμια ασφάλεια. Η ανάπτυξη της πυρηνικής τεχνολογίας σε περιοχές με ήδη υπάρχουσες εντάσεις ενδέχεται να ενισχύσει την αστάθεια και τον ανταγωνισμό.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες έντασης σχετίζεται με τις πηγές ουρανίου. Ο έλεγχος των αποθεμάτων ουρανίου αποτελεί στρατηγική

προτεραιότητα για πολλές χώρες, ενώ τα κράτη με πλούσια κοιτάσματα αποκτούν σημαντική γεωπολιτική ισχύ.

Παράλληλα, η ασφάλεια των πυρηνικών εγκαταστάσεων αποτελεί διαρκή πρόκληση. Πολλές πυρηνικές μονάδες αντιμετωπίζουν καθημερινά απειλές από τρομοκρατικές οργανώσεις. Ο κίνδυνος τρομοκρατικών επιθέσεων ή η απόκτηση ραδιενεργών υλικών από εξτρεμιστικές ομάδες αποτελεί σοβαρή γεωπολιτική ανησυχία. Γι' αυτό, οι διεθνείς προσπάθειες για την ενίσχυση της προστασίας των εγκαταστάσεων και την πρόληψη της παράνομης διακίνησης ραδιενεργών υλικών είναι ζωτικής σημασίας για την αποτροπή τέτοιων απειλών [\[70\]](#).

Συνοψίζοντας, με τη σωστή και στρατηγικά στοχευμένη χρήση της, η πυρηνική ενέργεια παραμένει ένα ισχυρό εργαλείο διεθνούς πολιτικής και διαμόρφωσης στρατηγικών συμμαχιών. Η συνεργασία στον τομέα της πυρηνικής τεχνολογίας μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία μακροπρόθεσμων σχέσεων, οι οποίες ξεπερνούν το πεδίο της ενέργειας και επηρεάζουν την ευρύτερη γεωπολιτική σκηνή.

Ωστόσο, το κρίσιμο ζητούμενο είναι η ελεγχόμενη χρήση της. Η διεθνής κοινότητα οφείλει να διασφαλίζει ότι η πυρηνική ενέργεια αξιοποιείται με υπευθυνότητα και ασφάλεια, περιορίζοντας τους κινδύνους και ενισχύοντας τη σταθερότητα σε παγκόσμιο επίπεδο.

4.2 Ενεργειακή Ασφάλεια: Η στρατηγική σημασία της πυρηνικής ενέργειας για την ενεργειακή ασφάλεια και πώς αυτό επηρεάζει τις διεθνείς σχέσεις.

Η στρατηγική σημασία της πυρηνικής ενέργειας για την ενεργειακή ασφάλεια αποτελεί ένα πολυδιάστατο ζήτημα, το οποίο εμπλέκει τεχνολογικές, οικονομικές, περιβαλλοντικές και γεωπολιτικές παραμέτρους. Η αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας μπορεί να ενισχύσει την αυτάρκεια και τη σταθερότητα στην ενεργειακή τροφοδοσία μιας χώρας, γεγονός που έχει άμεσες επιπτώσεις στις διεθνείς σχέσεις.

Οι σχέσεις μεταξύ κρατών διαμορφώνονται συχνά από κρίσιμους παράγοντες, όπως οι περιβαλλοντικές συνέπειες, η πρόσβαση σε ενεργειακούς πόρους και η γεωπολιτική ισορροπία. Σε αυτό το πλαίσιο, η ενεργειακή ασφάλεια μέσω της πυρηνικής ενέργειας αναδεικνύεται σε καταλυτικό παράγοντα, επηρεάζοντας όχι μόνο τις εθνικές στρατηγικές αλλά και τη διεθνή συνεργασία ή αντιπαράθεση.

4.2.1 Ορισμός και σημασία της Ενεργειακής Ασφάλειας

Ορισμός: Η ενεργειακή ασφάλεια αναφέρεται στην ικανότητα ενός κράτους να εξασφαλίζει αξιόπιστη, προσιτή και επαρκή προμήθεια ενέργειας, τόσο για την κάλυψη των τρεχουσών όσο και των μελλοντικών του αναγκών. Περιλαμβάνει την ανθεκτικότητα έναντι ενεργειακών διαταραχών και την εξασφάλιση σταθερών πηγών ενέργειας.

Σημασία: Η πρόσβαση στην ενέργεια είναι κρίσιμη για την ικανοποίηση βασικών αναγκών, την οικονομική ανάπτυξη και τη διατήρηση της πολιτικής σταθερότητας ενός κράτους. Η πυρηνική ενέργεια παίζει σημαντικό ρόλο στο πλαίσιο αυτό, καθώς αποτελεί έναν από τους τέσσερις βασικούς πυλώνες της Ενεργειακής Συνεργασίας της Ένωσης Νοτιοανατολικών Εθνών (ASEAN) για την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης [\[68\]](#).

4.2.2 Ο Ρόλος της Πυρηνικής Ενέργειας στην Ενεργειακή Ασφάλεια

Η πυρηνική ενέργεια αποτελεί βασικό πυλώνα της ενεργειακής ασφάλειας, καθώς συνεισφέρει ουσιαστικά σε πολλούς τομείς:

1. Σταθερή και αξιόπιστη πηγή ενέργειας

Τα πυρηνικά εργοστάσια προσφέρουν σταθερή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή αξιοπιστία, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες ή τις διακυμάνσεις στις τιμές των ορυκτών καυσίμων. Αυτό τα καθιστά μια κρίσιμη επιλογή για τη μακροπρόθεσμη ενεργειακή σταθερότητα.

2. Μείωση εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα

Τα πυρηνικά εργοστάσια Η χρήση πυρηνικής ενέργειας συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα, όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, ενισχύοντας έτσι την ενεργειακή αυτονομία των κρατών.

3. Συμβολή στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

Ως καθαρή μορφή ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια δεν εκπέμπει αέρια του θερμοκηπίου κατά την παραγωγή της. Συνεπώς, συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση των εκπομπών και στην επίτευξη των διεθνών στόχων για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

4.2.3 Στρατηγική Σημασία της Πυρηνικής Ενέργειας

Η στρατηγική σημασία της πυρηνικής ενέργειας είναι πολυδιάστατη, καθώς επηρεάζει κρίσιμους τομείς όπως η εθνική ασφάλεια, η ενεργειακή ανεξαρτησία, η τεχνολογική πρόοδος και οι διεθνείς σχέσεις.

Ενίσχυση της Αποτρεπτικής Ισχύος

Η ύπαρξη πυρηνικών εγκαταστάσεων, ακόμη και όταν προορίζονται αποκλειστικά για ειρηνική χρήση, μπορεί να ενισχύσει την αποτρεπτική ισχύ ενός κράτους. Η δυνατότητα παραγωγής πυρηνικής ενέργειας προσδίδει στρατηγικό κύρος και μπορεί να λειτουργήσει ως παράγοντας επιρροής στην παγκόσμια σκακιέρα.

Δυνατότητα Αναβάθμισης Τεχνολογίας

Οι χώρες που διαθέτουν πυρηνικές υποδομές για παραγωγή ενέργειας ή για ιατρικές εφαρμογές έχουν ήδη την τεχνογνωσία και τις εγκαταστάσεις που, θεωρητικά, μπορούν να τροποποιηθούν ή να αναβαθμιστούν ώστε να υποστηρίξουν στρατιωτικές πυρηνικές εφαρμογές. Αυτό προσδίδει στις χώρες αυτές ιδιαίτερο στρατηγικό βάρος, ακόμη κι αν δεν κατέχουν πυρηνικά όπλα.

Αύξηση Διεθνούς Επιρροής

Η κατοχή προηγμένης πυρηνικής τεχνολογίας ενισχύει τη διεθνή επιρροή ενός κράτους, καθιστώντας το σημαντικό παράγοντα στη διαμόρφωση γεωπολιτικών ισορροπιών. Τέτοια κράτη συχνά αποκτούν αναβαθμισμένο ρόλο σε διεθνείς οργανισμούς και συμμετέχουν ενεργά σε κρίσιμες διαπραγματεύσεις που αφορούν την ενέργεια, την ασφάλεια και τη μη διάδοση πυρηνικών όπλων.

Πυρηνική Τεχνολογία και Τεχνολογική Ανάπτυξη

Η πυρηνική τεχνολογία διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην προώθηση της επιστημονικής και τεχνολογικής ανάπτυξης, γεγονός που μπορεί να ενισχύσει

σημαντικά τόσο την εθνική οικονομία όσο και τη διεθνή επιρροή μιας χώρας. Οι κύριες πτυχές της στρατηγικής σημασίας της πυρηνικής ενέργειας στον τομέα αυτό περιλαμβάνουν:

1. Προώθηση Επιστημονικής Έρευνας και Καινοτομίας

Η ανάπτυξη της πυρηνικής τεχνολογίας προϋποθέτει προηγμένη έρευνα σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών πεδίων. Η απαίτηση αυτή λειτουργεί ως μοχλός καινοτομίας, ενισχύοντας τη δημιουργία νέων τεχνολογικών εφαρμογών και την πρόοδο της επιστήμης.

2. Ενίσχυση της Βιομηχανικής Ανάπτυξης

Η ύπαρξη και εξέλιξη της πυρηνικής τεχνολογίας ενισχύει τη βιομηχανία υψηλής τεχνολογίας. Βιομηχανικοί τομείς όπως η κατασκευή εξειδικευμένου εξοπλισμού, η επεξεργασία προηγμένων υλικών και οι τεχνικές υποστηρικτικές υπηρεσίες ωφελούνται άμεσα, δημιουργώντας νέες ευκαιρίες και θέσεις εργασίας.

3. Διεθνής Συνεργασία και Επενδύσεις

Η πυρηνική τεχνολογία αποτελεί καταλύτη για διεθνή συνεργασία στους τομείς της έρευνας, της ανάπτυξης και των εφαρμογών. Οι χώρες με προηγμένες τεχνολογίες μπορούν να προσελκύσουν ξένες επενδύσεις και να συμμετέχουν σε διακρατικά προγράμματα. Οι συνεργασίες αυτές ενισχύουν την παγκόσμια τεχνογνωσία, δημιουργούν δίκτυα επιστημόνων και ερευνητών και προωθούν την ανταλλαγή γνώσεων και την καινοτομία.

4. Ο Ρόλος των Διμερών και Πολυμερών Συμφωνιών

Η στρατηγική σημασία της πυρηνικής ενέργειας ενισχύεται μέσα από διμερείς και πολυμερείς συμφωνίες που ενθαρρύνουν τη συνεργασία μεταξύ κρατών. Μέσω αυτών:

- Επιτυγχάνεται ανταλλαγή τεχνολογίας και τεχνογνωσίας,
- Παρέχεται εκπαίδευση επιστημόνων και τεχνικού προσωπικού,
- Υποστηρίζεται η ανάπτυξη πυρηνικών υποδομών σε λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες.

Αυτές οι συνεργασίες διευκολύνουν τη διάχυση της τεχνολογικής γνώσης και συμβάλλουν στην τεχνολογική αναβάθμιση των συμμετεχουσών χωρών.

Γεωπολιτική Στρατηγική Αξία

Η πυρηνική ενέργεια κατέχει ιδιαίτερη γεωπολιτική σημασία, καθώς επηρεάζει τις διεθνείς σχέσεις και συμβάλλει στον επαναπροσδιορισμό της παγκόσμιας ισορροπίας δυνάμεων. Οι χώρες που διαθέτουν ανεπτυγμένη πυρηνική τεχνολογία αποκτούν αυξημένη γεωπολιτική επιρροή και συχνά αποτελούν εταίρους-κλειδιά σε στρατηγικές συνεργασίες.

Επιπλέον, οι διακρατικές συνεργασίες στον πυρηνικό τομέα μπορούν να παίξουν καθοριστικό ρόλο στην αντιμετώπιση παγκόσμιων προκλήσεων, όπως η κλιματική αλλαγή και η ενεργειακή ασφάλεια, ενισχύοντας έτσι τη συλλογική παγκόσμια προσπάθεια για βιώσιμη ανάπτυξη.

4.3 Οικονομικά Κίνητρα και Κυρώσεις:

Οικονομικά Κίνητρα και Κυρώσεις στην Πυρηνική Ενέργεια

Η οικονομική διάσταση της πυρηνικής ενέργειας είναι σύνθετη και περιλαμβάνει τρεις βασικούς άξονες: τις επενδύσεις, την τεχνολογική συνεργασία και τις διεθνείς κυρώσεις.

Επενδύσεις στον Πυρηνικό Τομέα

Οι επενδύσεις στην πυρηνική ενέργεια χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος και μακροπρόθεσμο ορίζοντα απόδοσης. Η κατασκευή και λειτουργία πυρηνικών σταθμών απαιτεί σημαντικά κεφάλαια, γεγονός που καθιστά τον τομέα ελκυστικό κυρίως για κρατικές επενδύσεις ή διεθνείς συνεργασίες υψηλής στρατηγικής σημασίας. Παράλληλα, τα οικονομικά οφέλη από τη μακροχρόνια σταθερότητα στην ενεργειακή παραγωγή μπορούν να είναι ουσιαστικά.

Τεχνολογική Συνεργασία

Η διεθνής τεχνολογική συνεργασία στον πυρηνικό τομέα είναι κρίσιμη για την εξασφάλιση της ασφαλούς, αξιόπιστης και αποδοτικής χρήσης της πυρηνικής τεχνολογίας. Μέσα από διακρατικές συμφωνίες και κοινά προγράμματα, οι χώρες ανταλλάσσουν τεχνογνωσία και ενισχύουν τις ικανότητές τους στον σχεδιασμό, τη λειτουργία και την εποπτεία πυρηνικών εγκαταστάσεων.

Διεθνείς Κυρώσεις

Οι κυρώσεις αποτελούν σημαντικό εργαλείο της διεθνούς κοινότητας για την αποτροπή της διάδοσης πυρηνικών όπλων. Επιβάλλονται σε χώρες που θεωρείται ότι παραβιάζουν τις συμφωνίες για τη μη διάδοση ή αναπτύσσουν πυρηνικά προγράμματα χωρίς διαφάνεια. Παρότι περιοριστικές, οι κυρώσεις αυτές έχουν ως στόχο την ενίσχυση της παγκόσμιας ασφάλειας και τη συμμόρφωση με το διεθνές δίκαιο.

4.3.1 Επενδύσεις σε Πυρηνική Ενέργεια

Οι επενδύσεις στην πυρηνική ενέργεια είναι κεφαλαιουχικά απαιτητικές αλλά μακροπρόθεσμα αποδοτικές. Παρά τα υψηλά αρχικά κόστη, η σταθερή παραγωγή και τα χαμηλά λειτουργικά έξοδα καθιστούν την πυρηνική ενέργεια μια ελκυστική επιλογή για την ενεργειακή στρατηγική πολλών χωρών.

Κόστος Κατασκευής και Συντήρησης

Η κατασκευή πυρηνικών σταθμών προϋποθέτει υψηλό αρχικό κόστος, το οποίο περιλαμβάνει:

- Ανάπτυξη τεχνολογίας και μελέτες σκοπιμότητας,
- Προμήθεια και εγκατάσταση εξειδικευμένου εξοπλισμού,
- Κατασκευή των εγκαταστάσεων και των αντιδραστήρων,
- Εκπαίδευση προσωπικού,
- Υλοποίηση αυστηρών μέτρων ασφαλείας.

Επιπλέον, η συντήρηση των σταθμών περιλαμβάνει:

- Τακτικούς τεχνικούς ελέγχους,
- Επαναπιστοποιήσεις ασφαλείας,
- Αναβαθμίσεις εξοπλισμού ώστε να ανταποκρίνεται στα νέα πρότυπα.

Κόστος Αποξήλωσης

Στο τέλος του κύκλου ζωής ενός πυρηνικού σταθμού, απαιτείται σημαντική χρηματοδότηση για την αποξήλωση των εγκαταστάσεων. Η διαδικασία αυτή πρέπει να γίνει με απόλυτη ασφάλεια, ώστε να αποφευχθεί η περιβαλλοντική ρύπανση από ραδιενεργά υλικά.

Οικονομικά Οφέλη

Παρά τα υψηλά κόστη, η πυρηνική ενέργεια προσφέρει πολλαπλά οφέλη:

- Σταθερότητα και αξιοπιστία παραγωγής: Οι πυρηνικοί σταθμοί λειτουργούν ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών, σε αντίθεση με τις ανανεώσιμες πηγές όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια.
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος: Το ουράνιο είναι φθινό και απαιτείται σε μικρές ποσότητες για παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Τα λειτουργικά κόστη των πυρηνικών σταθμών είναι χαμηλότερα από εκείνα που βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα.
- Μείωση εκπομπών CO₂: Η πυρηνική ενέργεια δεν εκπέμπει διοξείδιο του άνθρακα κατά την παραγωγή της, συμβάλλοντας στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.
- Ενεργειακή ανεξαρτησία: Οι χώρες που επενδύουν στην πυρηνική ενέργεια μειώνουν την εξάρτησή τους από εισαγόμενα καύσιμα, ενισχύοντας την ενεργειακή τους αυτονομία και ασφάλεια.
- Δημιουργία θέσεων εργασίας: Οι επενδύσεις σε πυρηνικά εργοστάσια δημιουργούν θέσεις υψηλής εξειδίκευσης τόσο στην κατασκευή όσο και στη λειτουργία, ενισχύοντας το εργατικό δυναμικό και την τοπική οικονομία.

Κρατική και Ιδιωτική Χρηματοδότηση

Η ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας χρηματοδοτείται συχνά από κυβερνήσεις, ιδιώτες ή με μεικτά επενδυτικά σχήματα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν:

- Κρατική χρηματοδότηση όπως αυτή της ρωσικής κυβέρνησης προς τη Rosatom,
- Ιδιωτικές επενδύσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες για την ανάπτυξη καινοτόμων πυρηνικών τεχνολογιών.

Ανάλογες πολιτικές ενίσχυσης των επενδύσεων διαμορφώνουν το τοπίο της πυρηνικής ενέργειας παγκοσμίως, επηρεάζοντας τις διεθνείς τεχνολογικές ισορροπίες.

4.3.2 Τεχνολογική Συνεργασία και Μεταφορά Τεχνολογίας

Τεχνολογική Συνεργασία και Μεταφορά Τεχνολογίας

Η τεχνολογική συνεργασία στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας αποτελεί θεμέλιο για τη μεταφορά τεχνογνωσίας, την ενίσχυση της επιστημονικής

ικανότητας των κρατών και την προώθηση οικονομικών και διπλωματικών σχέσεων. Αυτή η συνεργασία υλοποιείται τόσο μέσω διμερών όσο και πολυμερών συμφωνιών, με τη συνδρομή διεθνών οργανισμών.

Διμερείς Συμφωνίες

Οι διμερείς συμφωνίες επιτρέπουν τη μεταφορά τεχνολογίας και τεχνογνωσίας μεταξύ κρατών, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη των εθνικών πυρηνικών προγραμμάτων και στην ενίσχυση της τεχνολογικής αυτοδυναμίας. Ταυτόχρονα, προάγουν τη δημιουργία σταθερών οικονομικών σχέσεων μεταξύ των εμπλεκόμενων χωρών.

Χώρες με μακρά εμπειρία στον τομέα, όπως η Ρωσία, οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Γαλλία, είναι συχνά πρωταγωνιστές σε τέτοιου είδους συμφωνίες, παρέχοντας τεχνολογία, εξοπλισμό και τεχνική υποστήριξη σε αναπτυσσόμενες ή τεχνολογικά λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες.

Εκπαίδευση Ανθρώπινου Δυναμικού και Ανάπτυξη Υποδομών

Οι τεχνολογικές συμφωνίες περιλαμβάνουν συχνά:

- Εκπαίδευση επιστημονικού και τεχνικού προσωπικού,
- Μεταπτυχιακά και εξειδικευμένα προγράμματα,
- Κατασκευή υποδομών, όπως εργαστήρια, ερευνητικά κέντρα και εκπαιδευτικές εγκαταστάσεις.

Αυτές οι δράσεις ενισχύουν την τοπική οικονομία, δημιουργούν θέσεις εργασίας υψηλής εξειδίκευσης και προωθούν τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Ρόλος Διεθνών Οργανισμών και Πολυμερών Συμφωνιών

Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ)

Ο ΔΟΑΕ παρέχει χρηματοδότηση, τεχνική υποστήριξη και συμβουλευτικές υπηρεσίες για την ανάπτυξη πυρηνικών προγραμμάτων ειρηνικής χρήσης. Μέσω των δράσεών του, ενισχύεται η τεχνολογική και οικονομική πρόοδος των κρατών-μελών. (Περισσότερες πληροφορίες για τον ΔΟΑΕ παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2, Υποενότητα 2.3.1).

Πολυμερείς Συμφωνίες Παράδειγμα Euratom

Η Euratom, ως ευρωπαϊκή κοινοτική οντότητα, προάγει την τεχνολογική συνεργασία στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας στην Ευρώπη. Μέσω κοινών ερευνητικών προγραμμάτων, χρηματοδότησης και ρυθμιστικής εναρμόνισης, ενισχύει τη συλλογική τεχνογνωσία και υποστηρίζει έργα υψηλής στρατηγικής αξίας.

4.3.3 Οικονομικές Κυρώσεις και Περιορισμοί

Οικονομικές Κυρώσεις και Περιορισμοί στην Πυρηνική Ενέργεια

Οι οικονομικές κυρώσεις και οι περιορισμοί στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας αποτελούν κρίσιμα εργαλεία άσκησης διεθνούς πολιτικής. Επιβάλλονται από κυβερνήσεις και διεθνείς οργανισμούς με στόχο την εξυπηρέτηση γεωπολιτικών, διπλωματικών και οικονομικών σκοπών.

Στόχος: Αποτροπή Διάδοσης Πυρηνικών Όπλων

Κεντρικός στόχος αυτών των μέτρων είναι η αποτροπή της εξάπλωσης των πυρηνικών όπλων και η επιβολή συμμόρφωσης με τις διεθνείς συνθήκες μη διάδοσης. Κυρώσεις επιβάλλονται σε χώρες που παραβιάζουν αποφάσεις του ΟΗΕ και προχωρούν σε παράνομη ανάπτυξη πυρηνικών όπλων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το Ιράν, στο οποίο έχουν επιβληθεί κυρώσεις από τον ΟΗΕ και την Ευρωπαϊκή Ένωση λόγω του πυρηνικού του προγράμματος. Αυτά τα μέτρα περιλάμβαναν:

- Εμπορικούς περιορισμούς,
 - Πάγωμα περιουσιακών στοιχείων,
 - Περιορισμούς στη χρηματοδότηση έργων.
- (Βλ. αναλυτικά στο Κεφάλαιο 7, Υποενότητα 7.1.4.)

Εμπόριο, Χρηματοδότηση και Διπλωματική Πίεση

Οι κυρώσεις στοχεύουν συχνά στον περιορισμό:

- Του εμπορίου πυρηνικών υλικών και τεχνολογιών,
- Της χρηματοδότησης πυρηνικών έργων από διεθνείς ή ιδιωτικούς φορείς.

Αυτά τα οικονομικά μέτρα συνοδεύονται από διπλωματικές πιέσεις, με σκοπό την απομόνωση των κρατών που παραβιάζουν διεθνείς συμφωνίες. Η

συνδυασμένη χρήση οικονομικών και πολιτικών μέσων στοχεύει να ωθήσει τα κράτη αυτά σε συμμόρφωση με το διεθνές νομικό πλαίσιο.

Παραδείγματα Οικονομικών Κυρώσεων με Αντίκτυπο στις Εθνικές Οικονομίες

Οι οικονομικές κυρώσεις που επιβάλλονται σε χώρες λόγω της πυρηνικής τους δραστηριότητας μπορούν να έχουν σημαντικές συνέπειες στις οικονομίες τους. Ακολουθούν χαρακτηριστικά παραδείγματα:

1. Ιράν

Το Ιράν έχει αποτελέσει αντικείμενο πολυάριθμων οικονομικών κυρώσεων από διάφορους διεθνείς φορείς, λόγω του επίμαχου πυρηνικού του προγράμματος. Μεταξύ αυτών:

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχει επιβάλει σειρά οικονομικών μέτρων, περιορίζοντας τις εμπορικές συναλλαγές και τη χρηματοπιστωτική πρόσβαση.

Η SWIFT (Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication) απέκλεισε ιρανικές τράπεζες από το διεθνές τραπεζικό σύστημα, με αποτέλεσμα να επηρεαστούν σοβαρά οι διεθνείς πληρωμές και η εμπορική δραστηριότητα του Ιράν.

Οι κυρώσεις αυτές είχαν σημαντικό αντίκτυπο στην οικονομία της χώρας, περιορίζοντας τις επενδύσεις, την πρόσβαση σε ξένα κεφάλαια και τη γενικότερη οικονομική ανάπτυξη. (Περισσότερες πληροφορίες παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 7, Υποενότητα 7.1.)

2. Ινδία

Το 1988, επιβλήθηκαν στην Ινδία κυρώσεις από τις Ηνωμένες Πολιτείες αναφορικά με τον τομέα της πυρηνικής ενέργειας. Οι κυρώσεις αυτές εφαρμόστηκαν από την κυβέρνηση του τότε προέδρου Μπιλ Κλίντον, σε απάντηση στις πυρηνικές δοκιμές και την άρνηση της Ινδίας να υπογράψει τη Συνθήκη Μη Διάδοσης των Πυρηνικών Όπλων (NPT).

Οι κυρώσεις περιελάμβαναν:

- Τεχνολογικούς περιορισμούς,

- Αναστολή επιστημονικής και τεχνικής συνεργασίας,
- Περιορισμούς σε εξαγωγές στρατηγικής σημασίας.

Αν και είχαν προσωρινό αρνητικό οικονομικό αντίκτυπο, συνέβαλαν παράλληλα στην ενίσχυση της εσωτερικής τεχνολογικής αυτάρκειας της Ινδίας. (Αναλυτικά στοιχεία παρέχονται στο Κεφάλαιο 7, Υποενότητα 7.2.1.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΧΩΡΕΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΙ ΣΤΗΝ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η πυρηνική ενέργεια αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πηγές ηλεκτροπαραγωγής παγκοσμίως, ιδιαίτερα για κράτη που επιδιώκουν ενεργειακή ασφάλεια, διαφοροποίηση πηγών ενέργειας και ταυτόχρονη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σήμερα, περισσότερες από 30 χώρες διαθέτουν πυρηνικούς αντιδραστήρες σε λειτουργία, με πάνω από 410 μονάδες να είναι ενεργές παγκοσμίως, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 9,2% της παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής (IAEA, 2024).

Ηνωμένες Πολιτείες και Ρωσία – Παγκόσμιοι Πρωτοπόροι

Οι Ηνωμένες Πολιτείες διαθέτουν τον μεγαλύτερο αριθμό ενεργών πυρηνικών αντιδραστήρων στον κόσμο — 93 μονάδες (U.S. NRC, 2024) — που καλύπτουν περίπου το 18,2% της εγχώριας ηλεκτρικής ενέργειας (EIA, 2024). Η αμερικανική βιομηχανία συνεχίζει να επενδύει σε καινοτόμες τεχνολογίες, όπως οι μικροί αρθρωτοί αντιδραστήρες (SMRs), ενισχύοντας την ανταγωνιστικότητα του κλάδου.

Η Ρωσία, από την άλλη, διαθέτει 38 ενεργούς πυρηνικούς αντιδραστήρες (Rosatom, 2024), οι οποίοι παράγουν περίπου το 19,6% της εγχώριας ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα, μέσω της Rosatom, η Ρωσία διατηρεί σημαντική εξαγωγική δραστηριότητα, με έργα σε εξέλιξη ή υπό σύμβαση σε πάνω από 20 χώρες, ενισχύοντας τη γεωπολιτική της επιρροή.

Γαλλία – Πυρηνική Εξάρτηση και Ενεργειακή Αυτάρκεια

Η Γαλλία αποτελεί την πλέον «πυρηνικοεξαρτημένη» χώρα στην Ευρώπη, με 56 πυρηνικούς αντιδραστήρες (EDF, 2024) που παράγουν περίπου το 62-70% της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας (World Nuclear Association, 2024). Η στρατηγική αυτή βασίζεται στην επιδίωξη ενεργειακής αυτάρκειας, περιορισμού του ενεργειακού κόστους και μείωσης του άνθρακα..

Σουηδία και Ηνωμένο Βασίλειο – Ευρωπαϊκές Πρωτοβουλίες

Η Σουηδία διαθέτει 6 ενεργούς αντιδραστήρες που καλύπτουν περίπου το 30% της εθνικής ηλεκτροπαραγωγής (IAEA PRIS, 2024). Αν και κατά το παρελθόν είχαν δρομολογηθεί σχέδια απεξάρτησης από την πυρηνική ενέργεια, η

ενεργειακή κρίση και οι στόχοι μείωσης εκπομπών οδήγησαν την κυβέρνηση στην εξαγγελία κατασκευής 10 νέων μονάδων έως το 2045 (Swedish Energy Agency, 2024).

Το Ηνωμένο Βασίλειο διαθέτει σήμερα 9 λειτουργικούς αντιδραστήρες που καλύπτουν περίπου το 14% της ηλεκτρικής ενέργειας (UK BEIS, 2024). Παράλληλα, έχει επενδύσει στην κατασκευή νέων μονάδων, όπως το Hinkley Point C, καθώς και στην ανάπτυξη SMRs, στοχεύοντας σε μείωση της εξάρτησης από φυσικό αέριο.

Μέση Ανατολή – Στροφή στην Πυρηνική Ενεργειακή Αυτονομία

Στη Μέση Ανατολή, η πυρηνική ενέργεια κερδίζει έδαφος ως μέσο μείωσης της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα:

Η Τουρκία ξεκίνησε την κατασκευή του πρώτου της πυρηνικού σταθμού σε συνεργασία με τη Ρωσία, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η Σαουδική Αραβία επιδιώκει τη διαφοροποίηση του ενεργειακού της μείγματος, επενδύοντας σε πυρηνικές μονάδες με στόχο τη σταδιακή μείωση της χρήσης πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Το Ιράν, με μακρά εμπλοκή στην πυρηνική τεχνολογία, συνεχίζει να επεκτείνει το πυρηνικό του πρόγραμμα, παράλληλα με τις γεωπολιτικές προκλήσεις και τις διεθνείς επιπλοκές.

Ασία – Τεχνολογική Πρωτοπορία και Στρατηγική Ανάπτυξη

Η Ιαπωνία εργάζεται για την επανεκκίνηση και επανασχεδίαση του πυρηνικού της προγράμματος, επενδύοντας πρόσφατα στην κατασκευή ενός αντιδραστήρα πυρηνικής σύντηξης, σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η Ινδία παρουσιάζει έντονη δραστηριότητα στον τομέα, κατέχοντας μεταξύ άλλων αντιδραστήρα ταχέων νετρονίων, γεγονός που κατατάσσει τη χώρα σε ιδιαίτερα τεχνολογικά προηγμένο επίπεδο.

Η Νότια Κορέα αξιοποιεί σε σημαντικό βαθμό την πυρηνική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή, διαθέτοντας μονάδες υψηλής απόδοσης.

Η Κίνα, τέλος, διατηρεί ένα από τα πιο αναπτυγμένα πυρηνικά προγράμματα στον κόσμο, με συνεχείς επενδύσεις και ενίσχυση του εσωτερικού ενεργειακού της χαρτοφυλακίου.

Η παγκόσμια εικόνα της πυρηνικής ενέργειας παρουσιάζει μεγάλη ποικιλομορφία ως προς τις στρατηγικές, τα επίπεδα ανάπτυξης και τους στόχους των χωρών. Κάθε κράτος υιοθετεί διαφορετική προσέγγιση ανάλογα με τις ενεργειακές, περιβαλλοντικές, οικονομικές και γεωπολιτικές του ανάγκες.

Η παρακολούθηση των εξελίξεων και η ανάλυση των εθνικών στρατηγικών είναι απαραίτητες για την κατανόηση του μελλοντικού ρόλου της πυρηνικής ενέργειας στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα. Η χρήση αξιόπιστων πηγών και πρόσφατων δεδομένων καθίσταται κρίσιμη για τη διαμόρφωση επιστημονικά τεκμηριωμένων απόψεων και πολιτικών.

5.1 Ανάπτυξη στην Μέση Ανατολή

5.1.1. Το πυρηνικό πρόγραμμα του Ιράν

Το Ιράν διαθέτει ένα εκτεταμένο και πολυσύνθετο πυρηνικό πρόγραμμα, το οποίο περιλαμβάνει τρεις γνωστές μονάδες εμπλουτισμού ουρανίου, δύο ορυχεία ουρανίου, έναν ερευνητικό αντιδραστήρα και πληθώρα ερευνητικών εγκαταστάσεων. Το πρόγραμμα υπάγεται στην εποπτεία της Διεθνούς Υπηρεσίας Ατομικής Ενέργειας (ΔΥΑΕ) από το 1970, έπειτα από την κύρωση της Συνθήκης Μη Διάδοσης των Πυρηνικών Όπλων (NPT).

Ιστορική Εξέλιξη του Προγράμματος

Η εμπλοκή του Ιράν στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας ξεκίνησε τη δεκαετία του 1950, με τη συνδρομή των Ηνωμένων Πολιτειών, στο πλαίσιο του προγράμματος "Atoms for Peace". Η τεχνολογική και τεχνική υποστήριξη από τις ΗΠΑ και κράτη της Δυτικής Ευρώπης συνεχίστηκε μέχρι την Ιρανική Επανάσταση του 1979, η οποία ανέτρεψε το καθεστώς του Σάχη. Η πολιτική αλλαγή οδήγησε στην απόσυρση της δυτικής υποστήριξης.

Παρά τη διακοπή της βοήθειας, το Ιράν επιδίωξε να διατηρήσει και να ενισχύσει το πρόγραμμά του μέσω συμφωνιών με χώρες όπως η Γαλλία και η Αργεντινή. Κατά τη δεκαετία του 1990, πολλοί Ρώσοι επιστήμονες συνέβαλαν στην

τεχνολογική ανάπτυξη του ιρανικού προγράμματος, παρέχοντας κρίσιμη τεχνογνωσία.

Διεθνής Αντίδραση και Έλεγχοι

Από τις αρχές της δεκαετίας του 2000, η διεθνής κοινότητα άρχισε να εκφράζει σοβαρές ανησυχίες σχετικά με τη φύση του ιρανικού προγράμματος, ειδικά όσον αφορά τις μυστικές πυρηνικές εγκαταστάσεις που αποκαλύφθηκαν το 2003. Ο ΔΟΑΕ ξεκίνησε έρευνες για να αξιολογήσει κατά πόσο το εμπλουτισμένο ουράνιο προοριζόταν για ειρηνικούς σκοπούς ή για την κατασκευή πυρηνικών όπλων.

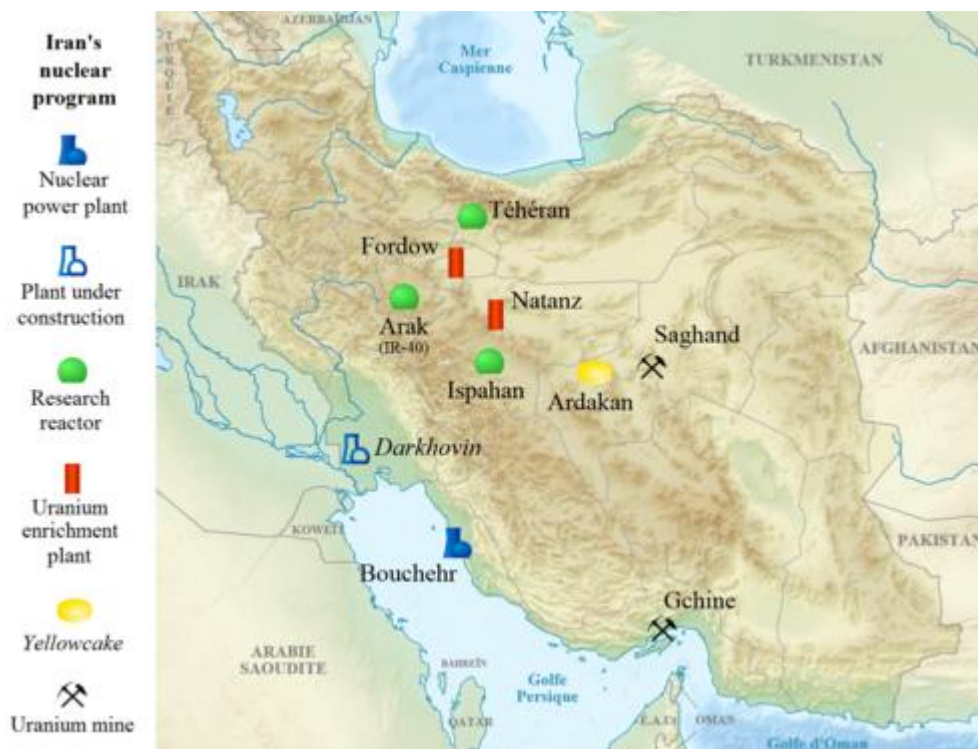
Ο Πυρηνικός Σταθμός Μπουσέρ

Ο πρώτος πυρηνικός σταθμός του Ιράν, Μπουσέρ Ι, κατασκευάστηκε με τη βοήθεια της ρωσικής κρατικής εταιρείας Rosatom και τέθηκε σε λειτουργία στα τέλη του 2012, σύμφωνα με τη ρωσική εταιρεία Atomenergorgrom. Ο σταθμός αυτός αποτελεί σημαντικό ορόσημο για την ιρανική πυρηνική τεχνολογία.

Το Κοινό Ολοκληρωμένο Σχέδιο Δράσης (JCPOA)

Το 2015, το Ιράν υπέγραψε το Κοινό Ολοκληρωμένο Σχέδιο Δράσης (Joint Comprehensive Plan of Action – JCPOA), συμφωνία που στόχευε στη μερική άρση των κυρώσεων με αντάλλαγμα τον περιορισμό του πυρηνικού του προγράμματος. Η ΔΥΑΕ, στις αρχές του 2019, ανακοίνωσε ότι το Ιράν είχε αρχίσει να συμμορφώνεται με τις προβλέψεις της συμφωνίας.

Ωστόσο, τον Ιούλιο του 2019, η ΔΥΑΕ κατέγραψε παραβίαση της συμφωνίας από την πλευρά του Ιράν, το οποίο συνέχισε την ανάπτυξη προηγμένων φυγοκεντρωτών. Η παραβίαση αυτή οδήγησε σε αναζωπύρωση της διεθνούς έντασης και σε διαφωνίες με αρκετούς από τους συμβαλλόμενους εταίρους της συμφωνίας [\[31\]](#).



εικόνα 8: χάρτης που δείχνει τις περιοχές που αναπτύσσεται το πυρηνικό πρόγραμμα του Ιράν (wikipedia.org)

5.1.1.1 Η πυρηνική διπλωματία του Ιράν

Από τον Δεκέμβριο του 2020, το Ιράν έχει εντείνει σημαντικά τις πυρηνικές του δραστηριότητες, περιορίζοντας παράλληλα τη συνεργασία του με τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ). Οι εξελίξεις αυτές έχουν φέρει τη χώρα πιο κοντά από ποτέ στην τεχνολογική δυνατότητα ανάπτυξης πυρηνικών όπλων, την ίδια στιγμή που η πρόσβαση των Ηνωμένων Πολιτειών και των συμμάχων τους στο ιρανικό πρόγραμμα έχει περιοριστεί σημαντικά.

Από την κατάρρευση των προσπαθειών της κυβέρνησης Μπάιντεν για αναβίωση του Κοινού Ολοκληρωμένου Σχεδίου Δράσης (JCPOA) το φθινόπωρο του 2022, η Ουάσιγκτον και η ΔΟΑΕ επιδίωξαν νέες διπλωματικές πρωτοβουλίες. Σκοπός τους ήταν να αποτραπεί μια διεθνής κρίση και να ανακοπεί η περαιτέρω πρόοδος του ιρανικού πυρηνικού προγράμματος, χωρίς μέχρι στιγμής να έχει υπάρξει ουσιαστική πρόοδος στην κατεύθυνση της αποκλιμάκωσης [32].

5.1.1.2 Πολιτική για την Πυρηνική ενέργεια στο Ιράν τις δεκαετίες 1950-1989

Η πολιτική του Ιράν ως προς την πυρηνική ενέργεια ξεκίνησε ως ειρηνική πρωτοβουλία αλλά εξελίχθηκε σε μακροπρόθεσμο στρατηγικό σχέδιο για την αξιοποίηση της ατομικής ενέργειας.

Τα Πρώτα Βήματα (1957–1970)

Το πυρηνικό πρόγραμμα του Ιράν θεμελιώθηκε στις 5 Μαρτίου 1957, με την ανακοίνωση μιας συμφωνίας συνεργασίας με στόχο τη διερεύνηση ειρηνικών εφαρμογών της πυρηνικής ενέργειας.

Το 1967 ιδρύθηκε το Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών της Τεχεράνης (Tehran Nuclear Research Center – TNRC), το οποίο τέθηκε υπό την ευθύνη της Υπηρεσίας Ατομικής Ενέργειας του Ιράν. Στο πλαίσιο αυτό, οι Ηνωμένες Πολιτείες προμήθευσαν το Ιράν με έναν πυρηνικό ερευνητικό αντιδραστήρα ισχύος 5 MW, ο οποίος λειτουργούσε με υψηλά εμπλουτισμένο ουράνιο.

Το 1968, το Ιράν υπέγραψε τη Συνθήκη Μη Διάδοσης Πυρηνικών Όπλων (NPT), την οποία επικύρωσε το 1970, θέτοντας το πυρηνικό του πρόγραμμα υπό την εποπτεία της Διεθνούς Υπηρεσίας Ατομικής Ενέργειας (ΔΥΑΕ) [31].

Επέκταση του Οράματος (1970–1979)

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, ο Σάχης του Ιράν ενέκρινε ένα φιλόδοξο σχέδιο για την κατασκευή έως και 23 πυρηνικών σταθμών μέχρι το έτος 2000. Τον Μάρτιο του 1974, δήλωσε χαρακτηριστικά:

«Το πετρέλαιο είναι ένα πολύτιμο υλικό – πολύ πολύτιμο για να καίγεται.»

Η στρατηγική αυτή αποσκοπούσε στη διαφοροποίηση του ενεργειακού μείγματος της χώρας και στην εξοικονόμηση των ορυκτών πόρων για άλλες χρήσεις.

Διεθνής Συμμετοχή και Οικονομικές Συμφωνίες

Αμερικανικές και ευρωπαϊκές εταιρείες επιχείρησαν να επεκτείνουν τις επιχειρηματικές τους δραστηριότητες στον ιρανικό πυρηνικό τομέα. Η πρώτη προγραμματισμένη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής ήταν ο σταθμός του Μπουσέρ, που προοριζόταν να παρέχει ενέργεια στην πόλη Σιράζ.

Το 1975, η γερμανική Kraftwerk Union AG, θυγατρική της AEG, υπέγραψε σύμβαση κατασκευής πυρηνικού αντιδραστήρα, αξίας 400 έως 600 δισεκατομμυρίων δολαρίων, με στόχο την εγκατάσταση και λειτουργία του πρώτου μεγάλου εμπορικού πυρηνικού σταθμού της χώρας [\[31\]](#).

Μετά την Ιρανική Επανάσταση του 1979, η διεθνής πυρηνική συνεργασία με το Ιράν διακόπηκε σχεδόν ολοκληρωτικά. Η νέα πολιτική ηγεσία και οι μεταβαλλόμενες γεωπολιτικές ισορροπίες οδήγησαν σε ακύρωση συμφωνιών, διακοπή τεχνικής υποστήριξης και περιορισμό προμηθειών καυσίμων.

Διακοπή Διεθνούς Συνεργασίας και Τεχνολογικός Αποκλεισμός

Οι Ηνωμένες Πολιτείες διέκοψαν την παροχή υψηλού εμπλουτισμένου ουρανίου προς το Πυρηνικό Ερευνητικό Κέντρο της Τεχεράνης, γεγονός που οδήγησε στο προσωρινό κλείσιμο των αντιδραστήρων. Παράλληλα, η γαλλική εταιρεία εμπλουτισμού ουρανίου Eurodif σταμάτησε την προμήθεια εμπλουτισμένου καυσίμου προς το Ιράν.

Παρά τον αποκλεισμό, το 1981, Ιρανοί αξιωματούχοι κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η συνέχιση του πυρηνικού προγράμματος αποτελούσε στρατηγική προτεραιότητα. Στο Κέντρο Πυρηνικής Τεχνολογίας του Ισφαχάν σχεδιάστηκε η δημιουργία ενός κόμβου που θα υποστήριζε την ανάπτυξη και μεταφορά τεχνογνωσίας στον κύκλο καυσίμου και στους πυρηνικούς αντιδραστήρες [\[31\]](#).

Παρεμβάσεις στο ΔΟΑΕ και Συνεργασία με την Κίνα

Το 1983, ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ) προσφέρθηκε να βοηθήσει το Ιράν σε:

- Χημικές μελέτες για την κατασκευή δεξαμενών καυσίμου,
- Μελέτες χημικής μηχανικής για μονάδες μετατροπής ουρανίου.

Ωστόσο, οι Ηνωμένες Πολιτείες άσκησαν ισχυρή διπλωματική πίεση ώστε να αποτρέψουν οποιαδήποτε βοήθεια από τον ΔΟΑΕ προς το Ιράν. Το Ιράν στράφηκε τότε στην Κίνα, με την οποία ξεκίνησε διμερή συνεργασία σε θέματα κύκλου καυσίμου. Ωστόσο, η Κίνα αναγκάστηκε στη συνέχεια να αποσυρθεί από το πιο κρίσιμο κομμάτι του προγράμματος, υπό διεθνείς πιέσεις.

Ανησυχίες για Πυρηνικό Εξοπλισμό και Πολεμικές Επιπτώσεις

Το 1984, οι δυτικογερμανικές μυστικές υπηρεσίες εξέφρασαν φόβους ότι το Ιράν ενδέχεται να αποκτήσει ουράνιο από το Πακιστάν για κατασκευή πυρηνικής βόμβας. Την ίδια χρονιά, ο Αμερικανός γερουσιαστής Άλαν Κράνστον δήλωσε ότι η Ισλαμική Δημοκρατία του Ιράν απέχει μόλις επτά χρόνια από την ικανότητα κατασκευής πυρηνικού όπλου.

Ο πόλεμος Ιράν–Ιράκ (1980–1988) προκάλεσε σοβαρές καταστροφές στους δύο αντιδραστήρες του Μπουσέρ, κυρίως από αεροπορικές επιδρομές και εκρηκτικές επιθέσεις, με αποτέλεσμα την αναστολή εργασιών και την καθυστέρηση του προγράμματος.

Συμφωνία με την Αργεντινή και Εξωτερικές Πιέσεις

Κατά την περίοδο 1987–1988, η Εθνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας της Αργεντινής υπέγραψε συμφωνία με το Ιράν για τη μετατροπή του καυσίμου του ερευνητικού αντιδραστήρα από υψηλού σε χαμηλού εμπλουτισμού ουράνιο.

Ωστόσο, σύμφωνα με έκθεση του 2006 από το σύστημα δικαιοσύνης της Αργεντινής, οι Ηνωμένες Πολιτείες άσκησαν ισχυρές πιέσεις για τον τερματισμό της συνεργασίας αυτής στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και στις αρχές του 1990. Παρ' όλα αυτά, νέες διαπραγματεύσεις μεταξύ Αργεντινής και Ιράν διεξήχθησαν από το 1992 έως το 1994, με σκοπό την υλοποίηση των συμφωνηθέντων της περιόδου 1987–88.

5.1.1.3 Πολιτική για την Πυρηνική ενέργεια στο Ιράν τη δεκαετία 1990 έως το 2002

Κατά τη δεκαετία του 1990, το Ιράν επιδίωξε να επανεκκινήσει και να ενισχύσει το πυρηνικό του πρόγραμμα, αξιοποιώντας διεθνείς συνεργασίες, διπλωματικές πρωτοβουλίες και συμφωνίες τεχνολογικής μεταφοράς, κυρίως με τη Ρωσία και τη Γαλλία.

Συνεργασία με τη Ρωσία – Οργάνωση Persepolis

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, το Ιράν συνεργάστηκε με τη Ρωσία για την ίδρυση μιας ερευνητικής οργάνωσης με την ονομασία Persepolis, μέσω της οποίας Ρώσοι πυρηνικοί εμπειρογνώμονες και κρίσιμες τεχνικές πληροφορίες μεταφέρθηκαν προς την ιρανική πλευρά. Η συνεργασία αυτή ενίσχυσε την

τεχνική βάση του ιρανικού προγράμματος και λειτούργησε ως πλατφόρμα τεχνογνωσίας.

Οικονομική Συμφωνία με τη Γαλλία και Διατήρηση Ιδιοκτησίας στην Eurodif

Το 1991, η Γαλλία αποφάσισε να επιστρέψει στο Ιράν το ποσό των 1,6 δισεκατομμυρίων δολαρίων, αναγνωρίζοντας το δικαίωμα ιδιοκτησίας του Ιράν στην κοινοπραξία Eurodif, μέσω της συμμετοχής του στην εταιρεία Sofidif. Η εξέλιξη αυτή αποτέλεσε σημαντικό οικονομικό και πολιτικό βήμα για την αποκατάσταση σχέσεων με την Ευρώπη στο πεδίο της πυρηνικής ενέργειας.

Διαφάνεια και Πρόσβαση σε Επιθεωρητές του ΔΟΑΕ

Το 1992, το Ιράν προχώρησε σε πρόσκληση προς τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ), δίνοντας στους επιθεωρητές πλήρη πρόσβαση σε εγκαταστάσεις και τοποθεσίες που αυτοί θα ζητούσαν. Αυτή η κίνηση αποτέλεσε ένδειξη διάθεσης για διαφάνεια και συμμόρφωση με τις διεθνείς υποχρεώσεις, σε μια περίοδο έντονων διεθνών πιέσεων [\[31\]](#).

Συμφωνία για την Επανεκκίνηση του Μπουσέρ

Το 1995, υπογράφηκε νέα συμφωνία μεταξύ του Ιράν και του Ρωσικού Υπουργείου Ατομικής Ενέργειας για την επανεκκίνηση των εργασιών στον πυρηνικό σταθμό του Μπουσέρ. Η συμφωνία προέβλεπε την εγκατάσταση πυρηνικού αντιδραστήρα και την ολοκλήρωση της κατασκευής έως το **2009**. Η συνεργασία αυτή ενίσχυσε περαιτέρω την τεχνολογική υποδομή του Ιράν και προσδιόρισε μακροπρόθεσμο στρατηγικό στόχο στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής από πυρηνική ενέργεια.

5.1.1.4 Επισκόπηση της πολιτικής για την Πυρηνική ενέργεια στο Ιράν τη δεκαετία 2003-2013

Κατά την περίοδο 2003–2013, το πυρηνικό πρόγραμμα του Ιράν βρέθηκε στο επίκεντρο της διεθνούς προσοχής. Οι ισχυρισμοί περί μη συμμόρφωσης με τη Συνθήκη Μη Διάδοσης Πυρηνικών Όπλων (NPT), σε συνδυασμό με τις προσπάθειες εμπλουτισμού ουρανίου, προκάλεσαν ανησυχίες για πιθανή στρατιωτική διάσταση του προγράμματος [\[31\]](#).

Ισχυρισμοί Μη Συμμόρφωσης και Αντίδραση του ΟΗΕ

Το 2003, ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ) κατηγόρησε το Ιράν για μη αποκάλυψη κρίσιμων δραστηριοτήτων εμπλουτισμού και επανεπεξεργασίας πυρηνικών υλικών. Αν και τέτοιες δραστηριότητες είναι τεχνικά συμβατές με ειρηνικές χρήσεις, ο ΔΟΑΕ επεσήμανε την παράλειψη του Ιράν να ενημερώσει έγκαιρα, κατά παράβαση της Συμφωνίας Διασφαλίσεων.

Το Ιράν δήλωσε ότι οι ενέργειές του ήταν αποκλειστικά για ειρηνική χρήση, διατηρώντας τον εμπλουτισμό ουρανίου κάτω από το 5%, ποσοστό επαρκές για πυρηνική παραγωγή ενέργειας. Επιπλέον, υποστήριξε ότι εξαναγκάστηκε να στραφεί σε μυστικές δραστηριότητες λόγω της πίεσης που ασκήθηκε από τις Ηνωμένες Πολιτείες σε διεθνείς συνεργάτες του.

Ως αντίδραση, το Συμβούλιο Ασφαλείας του ΟΗΕ κάλεσε το Ιράν να αναστείλει άμεσα κάθε δραστηριότητα εξόρυξης και εμπλουτισμού. Παρά την έλλειψη αποδείξεων για στρατιωτικές εφαρμογές, το Συμβούλιο θεώρησε πως υπήρξε παραβίαση των υποχρεώσεων του Ιράν και επέβαλε οικονομικές κυρώσεις μετά την άρνηση του να συμμορφωθεί.

Διπλωματικές Πρωτοβουλίες και Περιοριστικές Προτάσεις του Ιράν

Ως αντιστάθμισμα στις διεθνείς ανησυχίες, το Ιράν πρότεινε σειρά μονομερών μέτρων διαφάνειας:

- Επικύρωση του Πρόσθετου Πρωτοκόλλου του ΔΟΑΕ, που θα επέτρεπε αυστηρότερους ελέγχους,
- Μετατροπή της μονάδας εμπλουτισμού Natanz σε διεθνές κέντρο καυσίμων με συμμετοχή ξένων ειδικών,
- Αποκήρυξη επανεπεξεργασίας πλουτωνίου,
- Μετατροπή του εμπλουτισμένου ουρανίου σε ράβδους καυσίμου για χρήση αποκλειστικά σε αντιδραστήρες.

Οι προτάσεις αυτές ευθυγραμμίζονταν με συστάσεις ομάδας εμπειρογνομόνων του ΔΟΑΕ, η οποία είχε συσταθεί για τη μείωση των κινδύνων διάχυσης από δραστηριότητες του κύκλου καυσίμου.

Τεχνολογικές Ικανότητες και Εκτίμηση για “Ξεμπλοκάρισμα”

Παρά τις διαβεβαιώσεις του Ιράν, διεθνείς αναλυτές και επιστημονικοί οργανισμοί προειδοποίησαν για το ενδεχόμενο το Ιράν να φτάσει σε σημείο πυρηνικής ικανότητας “ξεμπλοκαρίσματος” (nuclear breakout), δηλαδή στην παραγωγή επαρκούς ποσότητας υψηλού εμπλουτισμένου ουρανίου για κατασκευή πυρηνικού όπλου.

Σύμφωνα με ανάλυση της Ομοσπονδίας Αμερικανών Επιστημόνων, η εκτίμηση εξαρτάται από:

- Τον αριθμό και την αποτελεσματικότητα των φυγοκεντρικών που διαθέτει το Ιράν,
- Το απόθεμα ουρανίου χαμηλού εμπλουτισμού που θα μπορούσε να αναβαθμιστεί,
- Τη συνολική τεχνολογική πρόοδο και τη πολιτική βούληση για τέτοια χρήση.

Ο ΔΟΑΕ, σε έκθεση της περιόδου, ανέφερε ότι το Ιράν διέθετε 240 λίβρες εμπλουτισμένου ουρανίου στο 20%, γεγονός που αύξησε περαιτέρω τις υποψίες για ενδεχόμενη στρατιωτική αξιοποίηση.

Πολιτικοί και Πολιτισμικοί Παράγοντες

Η συζήτηση για το ιρανικό πυρηνικό πρόγραμμα συνοδεύτηκε από αναλύσεις που επεσήμαναν πως η συγκεντρωτική πολιτική κουλτούρα και η έλλειψη εσωτερικής διαφάνειας στο Ιράν παρεμποδίζουν τη διεπιστημονική συνεργασία και τον ανοικτό διάλογο. Ορισμένοι ειδικοί υποστηρίζουν ότι η υπερβολική έμφαση στο πυρηνικό ζήτημα αποσπά την προσοχή από την ανάγκη βαθύτερων διπλωματικών δεσμών με την Ισλαμική Δημοκρατία [\[31\]](#).

5.1.2 Επενδύσεις στη Σαουδική Αραβία

Η Σαουδική Αραβία προωθεί ενεργά την πυρηνική ενέργεια ως μέρος της εθνικής στρατηγικής για ενεργειακή διαφοροποίηση. Στοχεύει να μειώσει την εξάρτησή της από τα ορυκτά καύσιμα και να ενισχύσει τις εξαγωγές πετρελαίου και φυσικού αερίου, εντάσσοντας την πυρηνική ενέργεια στο εγχώριο ενεργειακό μείγμα.

Ενεργειακή Διαφοροποίηση

Η πυρηνική ενέργεια θεωρείται από τη Σαουδική Αραβία ως βασικός μηχανισμός απελευθέρωσης υδρογονανθράκων για εξαγωγή, καθώς και μέσο διασφάλισης σταθερής ηλεκτροπαραγωγής στο εσωτερικό. Η στρατηγική της χώρας προβλέπει τη συστηματική ενσωμάτωση πυρηνικής ενέργειας, ώστε να μειωθεί η εξάρτηση από το πετρέλαιο στην εγχώρια κατανάλωση.

Διεθνείς Συμφωνίες και Συνεργασίες

Η Σαουδική Αραβία έχει υπογράψει διεθνείς συμφωνίες συνεργασίας με κράτη που διαθέτουν προηγμένα πυρηνικά προγράμματα, όπως Ρωσία, Κίνα, Νότια Κορέα, Ηνωμένες Πολιτείες.

Οι συμφωνίες καλύπτουν τεχνολογική υποστήριξη, μεταφορά τεχνογνωσίας και ανάπτυξη ερευνητικών και παραγωγικών δυνατοτήτων στον πυρηνικό τομέα.

Ρυθμιστικό Πλαίσιο και Νομική Συμμόρφωση

Η σαουδαραβική κυβέρνηση εργάζεται για την εγκαθίδρυση ενός ρυθμιστικού πλαισίου που να ευθυγραμμίζεται με τα διεθνή πρότυπα πυρηνικής ασφάλειας και μη διάδοσης. Το πλαίσιο αυτό περιλαμβάνει:

- Νομοθεσία για την πυρηνική ασφάλεια,
- Εφαρμογή διατάξεων μη διάδοσης,
- Τήρηση υποχρεώσεων που απορρέουν από διεθνείς συμβάσεις.

Ανάπτυξη Πυρηνικών Υποδομών

Η Σαουδική Αραβία έχει ξεκινήσει επενδύσεις στην κατασκευή:

- Πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής,
- Ερευνητικών αντιδραστήρων,
- Μονάδων παραγωγής πυρηνικών καυσίμων,
- Υποστηρικτικών εγκαταστάσεων για τον πλήρη κύκλο καυσίμου.

Αυτές οι υποδομές αποτελούν τη βάση για την αυτόνομη και βιώσιμη ανάπτυξη του πυρηνικού της προγράμματος.

Ανάπτυξη Ανθρώπινου Κεφαλαίου

Η Σαουδική Αραβία επενδύει σε εκπαίδευση και κατάρτιση εξειδικευμένου προσωπικού, ικανών να λειτουργούν και να συντηρούν πυρηνικές εγκαταστάσεις με τεχνολογική επάρκεια και ασφάλεια.

Οι δράσεις περιλαμβάνουν:

- Συνεργασίες με διεθνή ερευνητικά και εκπαιδευτικά ιδρύματα,
- Υποτροφίες και εξειδικευμένα προγράμματα σπουδών,
- Προγράμματα για την καλλιέργεια εθνικής τεχνογνωσίας στον πυρηνικό τομέα.

Διεθνής Συνεργασία και Εποπτεία

Η χώρα συνεργάζεται στενά με τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ), με στόχο την εγκαθίδρυση ενός ειρηνικού και ασφαλούς πυρηνικού προγράμματος. Η Σαουδική Αραβία έχει δηλώσει προσηλωση στις διεθνείς διασφαλίσεις, στις συμφωνίες μη διάδοσης και στην πλήρη διαφάνεια και εξωτερική εποπτεία των δραστηριοτήτων της [\[33\]](#).

5.1.2.1 Σχέδια της Σαουδικής Αραβίας για την πυρηνική ενέργεια

Η Σαουδική Αραβία έχει θέσει σε εφαρμογή φιλόδοξα σχέδια για την αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας για ειρηνικούς σκοπούς, στο πλαίσιο της εθνικής στρατηγικής Vision 2030, η οποία στοχεύει σε ένα βιώσιμο και διαφοροποιημένο ενεργειακό μέλλον [\[34\]](#).

Σύνδεση με το Saudi Vision 2030

Η κατασκευή πυρηνικών εγκαταστάσεων εντάσσεται στο Εθνικό Σαουδικό Έργο Ατομικής Ενέργειας, το οποίο έχει ως στόχο την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, μέσω της παραγωγής καθαρής ενέργειας. Σύμφωνα με τον Πρίγκιπα Abdul Bin Abdulaziz Al Saud, η πυρηνική ενέργεια αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του χάρτη πορείας προς τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Διεθνείς Δεσμεύσεις και Συμμόρφωση

Η Σαουδική Αραβία αποφάσισε να υιοθετήσει την πλήρη Συμφωνία Συνολικών Διασφαλίσεων του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ) και να καταργήσει το Πρωτόκολλο για Μικρές Ποσότητες (Small Quantities Protocol). Η απόφαση αυτή ενισχύει τη διαφάνεια και την αξιοπιστία του πυρηνικού της προγράμματος σε διεθνές επίπεδο [\[34\]](#).

Περιφερειακή Συνεργασία και Εκπαίδευση

Ο Πρωθυπουργός της Σαουδικής Αραβίας έχει ανακοινώσει σχέδιο για την ίδρυση Κέντρου Περιφερειακής Συνεργασίας, σε συνεργασία με τον ΔΟΑΕ, με σκοπό:

- την ανάπτυξη ανθρωπίνων ικανοτήτων στους τομείς της πυρηνικής ασφάλειας και ετοιμότητας,
- την ενίσχυση της ανταπόκρισης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης,
- τη διευκόλυνση ρυθμιστικής συνεργασίας σε εθνικό, περιφερειακό και διεθνές επίπεδο.

Εθνικές Πρωτοβουλίες και Εταιρική Υποδομή

Στο πλαίσιο αυτό, η Σαουδική Αραβία ίδρυσε την εταιρεία Nuclear Energy Holding, η οποία θα λειτουργεί ως εθνικός φορέας ανάπτυξης πυρηνικών έργων.

Σύμφωνα με την Έκθεση Πυρηνικών Καυσίμων της Παγκόσμιας Πυρηνικής Ένωσης (World Nuclear Association), η χώρα σχεδιάζει την:

- κατασκευή δύο νέων πυρηνικών αντιδραστήρων σε αρχικό στάδιο,
- σταδιακή αύξηση της πυρηνικής της ικανότητας από τα 1,4 GWe που είναι σήμερα σε 17 GWe έως το 2040.

5.1.2.2 Ανάπτυξη του πυρηνικού προγράμματος της Σαουδικής Αραβίας

Η Σαουδική Αραβία έχει ανακοινώσει την πρόθεσή της να αναπτύξει ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα πυρηνικής ενέργειας, το οποίο θα εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο της ενεργειακής διαφοροποίησης και της βιώσιμης

ανάπτυξης. Παράλληλα, η χώρα έχει εκφράσει την πλήρη δέσμευσή της για αυξημένη διαφάνεια και συμμόρφωση με τους διεθνείς κανόνες εποπτείας.

Δέσμευση για Ενισχυμένη Εποπτεία

Ο Υπουργός Ενέργειας της Σαουδικής Αραβίας δήλωσε δημοσίως ότι το Βασίλειο σκοπεύει να ενισχύσει τις επιθεωρήσεις και τις διασφαλίσεις σε επίπεδο που θα υπερβαίνει ακόμη και τα πρότυπα του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ). Η δήλωσή του υπογράμμισε την πρόθεση της Σαουδικής Αραβίας να κινηθεί με πλήρη διαφάνεια, διασφαλίζοντας ότι το πρόγραμμα της θα χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά για ειρηνικούς σκοπούς.

Συμμόρφωση με τη Συμφωνία Συνολικών Διασφαλίσεων

Σε αυτό το πλαίσιο, η Σαουδική Αραβία αποφάσισε να προχωρήσει στην εφαρμογή της Συνολικής Συμφωνίας Διασφαλίσεων (Comprehensive Safeguards Agreement) του ΔΟΑΕ. Η απόφαση αυτή επιβεβαιώνει τη δέσμευση της χώρας στην αρχή της μη διάδοσης πυρηνικών όπλων και ενισχύει τη διεθνή εμπιστοσύνη ως προς τη φύση και τους σκοπούς του πυρηνικού της προγράμματος [\[33\]](#).

5.1.2.3 Χρήση ουρανίου από την Σαουδική Αραβία

Η Σαουδική Αραβία έχει εκφράσει την πρόθεσή της να αξιοποιήσει τα εγχώρια αποθέματα ουρανίου για την ανάπτυξη του πυρηνικού της προγράμματος, τόσο για εσωτερική ενεργειακή χρήση όσο και για πιθανή μελλοντική εξαγωγή.

Ο Υπουργός Ενέργειας της χώρας δήλωσε ότι έχουν εντοπιστεί σημαντικά κοιτάσματα ουρανίου εντός της σαουδαραβικής επικράτειας, τα οποία η κυβέρνηση σκοπεύει να εκμεταλλευτεί στρατηγικά. Η εξόρυξη και επεξεργασία του ουρανίου εντάσσεται στο γενικότερο σχέδιο της Σαουδικής Αραβίας για ενεργειακή αυτάρκεια, ενίσχυση της βιομηχανικής παραγωγής καυσίμου και δημιουργία νέων πηγών εσόδων μέσω εξαγωγικής δραστηριότητας στον πυρηνικό τομέα.

Η απόφαση αυτή εγείρει ζητήματα που σχετίζονται με τη διεθνή εποπτεία, τη συμμόρφωση με τις συνθήκες μη διάδοσης και την ανάγκη για διαφάνεια στη διαχείριση πυρηνικών υλικών, τα οποία η Σαουδική Αραβία έχει δηλώσει ότι προτίθεται να τηρήσει μέσω συνεργασίας με τον ΔΟΑΕ [\[35\]](#).

5.1.2.4 Πυρηνικές φιλοδοξίες της Σαουδικής Αραβίας

Στις 20 Σεπτεμβρίου 2023, λιγότερο από τρεις εβδομάδες πριν από τις βίαιες επιθέσεις της Χαμάς στο Ισραήλ, ο Σαουδάραβας πρίγκιπας διάδοχος Μοχάμεντ μπιν Σαλμάν άφησε να εννοηθεί, κατά τη διάρκεια συνέντευξής του, ότι η Σαουδική Αραβία θα μπορούσε να επιδιώξει την απόκτηση πυρηνικών όπλων σε περίπτωση που το Ιράν αναπτύξει το δικό του πυρηνικό οπλοστάσιο.

Η Σαουδική Αραβία έχει δηλώσει ανοιχτά την πρόθεσή της να αποκτήσει πλήρη αυτονομία στον κύκλο του πυρηνικού καυσίμου, συμπεριλαμβανομένων των δυνατοτήτων εμπλουτισμού ουρανίου και επανεπεξεργασίας πυρηνικών καυσίμων. Αν και επισήμως το πρόγραμμα δηλώνεται ειρηνικού χαρακτήρα, η ρητή αναφορά του πρίγκιπα στην πιθανότητα στρατιωτικής αξιοποίησης της τεχνολογίας, εφόσον το επιβάλουν οι γεωπολιτικές συνθήκες, έχει εγείρει διεθνείς ανησυχίες.

Ως αποτέλεσμα αυτών των δηλώσεων και των ευρύτερων στρατηγικών στοχεύσεων, η Σαουδική Αραβία έχει αντιμετωπίσει σημαντικές δυσκολίες στην απόκτηση προηγμένης πυρηνικής τεχνολογίας από άλλες χώρες. Οι ανησυχίες περί ενδεχόμενης στρατιωτικοποίησης του προγράμματος έχουν περιορίσει τη διεθνή διάθεση για μεταφορά τεχνογνωσίας και εξοπλισμού [\[36\]](#).

5.1.2.5 Οι ανησυχίες για τη διάδοση του πυρηνικού προγράμματος της Σαουδικής Αραβίας

Η Σαουδική Αραβία εκδήλωσε έντονο ενδιαφέρον για την πυρηνική ενέργεια ήδη από τη δεκαετία του 1960, ενώ τη δεκαετία του 1970 ξεκίνησε επίσημα το μη στρατιωτικό της πυρηνικό πρόγραμμα. Το 2006 ανακοίνωσε την έναρξη μιας ενδεδειγμένης μελέτης για τις ειρηνικές χρήσεις της πυρηνικής ενέργειας, και το 2011 αποκάλυψε φιλόδοξο σχέδιο για την κατασκευή έως και 16 πυρηνικών αντιδραστήρων εντός 20-25 ετών [\[37\]](#).

Καθυστέρηση Υλοποίησης και Θεσμικά Εμπόδια

Ωστόσο, μέχρι το 2023, τα σχέδια αυτά δεν έχουν σημειώσει ουσιαστική πρόοδο. Σημαντικό εμπόδιο αποτέλεσε η απουσία εθνικής νομοθεσίας που να καλύπτει ζητήματα πυρηνικής ασφάλειας και μη διάδοσης, με αποτέλεσμα την

καθυστέρηση της ανάπτυξης ενός ολοκληρωμένου ρυθμιστικού και υποδομειακού πλαισίου για την ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας.

Υποψίες για Στρατιωτικοποίηση

Πάντως, ο σημαντικότερος παράγοντας που έχει εγείρει ανησυχίες στη διεθνή κοινότητα είναι ο κίνδυνος διάδοσης πυρηνικών όπλων. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1970, υπήρχαν υποψίες και φήμες ότι το Ριάντ εξετάζει το ενδεχόμενο απόκτησης πυρηνικών όπλων. Επιπλέον, η Σαουδική Αραβία φέρεται να έχει προσφέρει σημαντική οικονομική υποστήριξη σε πυρηνικά προγράμματα τρίτων χωρών, γεγονός που έχει ενισχύσει τις ανησυχίες για πιθανές στρατιωτικές επιδιώξεις πίσω από το ειρηνικό της πρόγραμμα.

5.1.2.6 Η εξέλιξη του πυρηνικού προγράμματος της Σαουδικής Αραβίας Κατασκευή Εγκατάστασης Επεξεργασίας Ουρανίου με Κινεζική Υποστήριξη

Η Σαουδική Αραβία, σε συνεργασία με την Κίνα, προχώρησε στην κατασκευή μιας απομακρυσμένης εγκατάστασης επεξεργασίας ουρανίου στην έρημο, γνωστής και ως μονάδα "yellowcake". Η εγκατάσταση αυτή σχεδιάστηκε με σκοπό την εξαγωγή και επεξεργασία ουρανίου από τα τοπικά κοιτάσματα, ενισχύοντας έτσι την εγχώρια δυνατότητα της χώρας στον κύκλο πυρηνικών καυσίμων [\[38\]](#).

Διεθνείς Αντιδράσεις και Ανησυχίες για τη Διάδοση

Η κατασκευή της εν λόγω εγκατάστασης έχει προκαλέσει σοβαρές ανησυχίες στις Ηνωμένες Πολιτείες και σε κράτη-μέλη της διεθνούς κοινότητας, κυρίως λόγω του περιορισμένου επιπέδου διαφάνειας και των ενδεχόμενων στρατιωτικών εφαρμογών της υποδομής. Σύμφωνα με εκθέσεις δυτικών αξιωματούχων, η ύπαρξη αυτής της υποδομής θα μπορούσε να αποτελέσει το πρώτο βήμα για την εξασφάλιση πλήρους αυτονομίας στον κύκλο του πυρηνικού καυσίμου, γεγονός που δημιουργεί υποψίες ότι το Ριάντ ενδέχεται μελλοντικά να επιδιώξει την απόκτηση πυρηνικών όπλων.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν εκφράσει επίσημα την ανησυχία τους ότι τέτοιες εξελίξεις ενδέχεται να υπονομεύσουν τις παγκόσμιες προσπάθειες μη

διάδοσης, ιδίως σε ένα ήδη ευαίσθητο γεωπολιτικό πλαίσιο στη Μέση Ανατολή.

5.1.3 Στρατηγική της Τουρκίας

5.1.3.1 Σκοπός της Τουρκίας όσο αφορά την πυρηνική ενέργεια

Η Τουρκία επιδιώκει να ενσωματώσει την πυρηνική ενέργεια στο ενεργειακό της μείγμα ως μέρος μιας ευρύτερης στρατηγικής για την ενεργειακή ασφάλεια και βιώσιμη ανάπτυξη. Οι βασικοί στόχοι της τουρκικής πολιτικής στον πυρηνικό τομέα περιλαμβάνουν:

- Μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας, μέσω της χρήσης καθαρών και μη εκπομπών CO₂ τεχνολογιών.
- Κάλυψη της αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης, καθώς η χώρα παρουσιάζει συνεχή οικονομική και πληθυσμιακή ανάπτυξη.
- Μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενες πηγές ενέργειας, κυρίως φυσικό αέριο και πετρέλαιο, βελτιώνοντας τη διαφοροποίηση του ενεργειακού εφοδιασμού της.

Η επιλογή της πυρηνικής ενέργειας εντάσσεται στον σχεδιασμό για μακροπρόθεσμη ενεργειακή αυτάρκεια και ενίσχυση της τεχνολογικής υποδομής της χώρας στον τομέα των προηγμένων ενεργειακών τεχνολογιών [\[39\]](#).

5.1.3.2 Η αρχή της κατασκευής του πυρηνικού σταθμού του Ακκούγιου

Ο πυρηνικός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής του Ακκούγιου, που βρίσκεται στο Buğükeceli της επαρχίας Μερσίνης στην Τουρκία, αποτελεί την πρώτη μονάδα παραγωγής πυρηνικής ενέργειας της χώρας. Τον Μάιο του 2010, υπογράφηκε διακρατική συμφωνία μεταξύ Ρωσίας και Τουρκίας για την κατασκευή του σταθμού. Το έργο αναπτύσσεται και λειτουργεί από την εταιρεία Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş., θυγατρική του ρωσικού κρατικού οργανισμού Rosatom.

Κατά το φάση αιχμής της κατασκευής, το έργο απασχόλησε περίπου 15.000 εργάτες, ενώ από το 2016 απασχολούνται μόνιμα περίπου 4.000 εργαζόμενοι. Το συνολικό κόστος του έργου ανέρχεται σε 22 δισεκατομμύρια δολάρια. Τον

Μάρτιο του 2020, ξεκίνησαν επίσημα οι εργασίες κατασκευής του τρίτου από τους τέσσερις αντιδραστήρες, παρουσία του Ρώσου Προέδρου Βλαντίμιρ Πούτιν και του Τούρκου Προέδρου Ρετζέπ Ταγίπ Ερντογάν [\[40\]](#).



εικόνα 9: Πυρηνικός σταθμός Ακκούγιου (Wikipedia)

5.2 Ο ρόλος της Ρωσίας στην πυρηνική ενέργεια

5.2.1 Πολιτική της Ρωσίας για την πυρηνική ενέργεια

Η Ρωσία διαθέτει ένα ιδιαίτερα ανεπτυγμένο και θεσμικά εδραιωμένο πρόγραμμα πυρηνικής ενέργειας, το οποίο επικεντρώνεται τόσο στην εγχώρια αξιοποίηση όσο και στη διεθνή συνεργασία και εξαγωγή τεχνογνωσίας. Τα κύρια χαρακτηριστικά της ρωσικής πολιτικής για την πυρηνική ενέργεια συνοψίζονται ως εξής:

1. Τεχνολογική Υπεροχή στους Πυρηνικούς Αντιδραστήρες

Η Ρωσία αποτελεί ηγέτιδα δύναμη στην ανάπτυξη πυρηνικών αντιδραστήρων, διαθέτοντας και εξαγοντας προηγμένους τύπους, όπως οι αντιδραστήρες υπό πίεση νερού (VVER) και οι ταχείς αναπαραγωγείς (fast breeders), οι οποίοι αξιοποιούνται τόσο εγχώρια όσο και σε διεθνή έργα.

2. Εξαγωγή Πυρηνικής Τεχνολογίας

Η Ρωσία διαδραματίζει ενεργό ρόλο στη διεθνή πυρηνική αγορά, προσφέροντας ολοκληρωμένες υπηρεσίες που περιλαμβάνουν την κατασκευή πυρηνικών μονάδων, την παροχή πυρηνικών καυσίμων και την υποστήριξη έργων έρευνας και ανάπτυξης σε συνεργαζόμενες χώρες.

3. Πυρηνική Ασφάλεια και Ρυθμιστική Επιτήρηση

Η πυρηνική ασφάλεια αποτελεί βασική προτεραιότητα, με εξειδικευμένες ρυθμιστικές αρχές (όπως η Rostekhnadzor) να διασφαλίζουν την αυστηρή συμμόρφωση με τα εθνικά και διεθνή πρότυπα. Η Ρωσία συμμετέχει επίσης ενεργά σε διεθνείς συνθήκες και πρωτοβουλίες για την ενίσχυση της πυρηνικής ασφάλειας.

4. Διαχείριση Πυρηνικών Αποβλήτων

Η διαχείριση των ραδιενεργών αποβλήτων αποτελεί σημαντική συνιστώσα της ρωσικής πυρηνικής πολιτικής, με την εφαρμογή στρατηγικών αποθήκευσης, μετατροπής και τελικής διάθεσης, σύμφωνα με τις διεθνείς βέλτιστες πρακτικές.

5. Έρευνα, Καινοτομία και Μελλοντικός Σχεδιασμός

Η Ρωσία επενδύει σταθερά στην καινοτομία στον τομέα της πυρηνικής τεχνολογίας, υποστηρίζοντας την ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων αντιδραστήρων (π.χ. μικροί αρθρωτοί αντιδραστήρες – SMRs, αντιδραστήρες τέταρτης γενιάς) και προγραμματίζει την κατασκευή νέων πυρηνικών σταθμών εντός και εκτός της επικράτειάς της.

5.2.2 Ενίσχυση πυρηνικού οπλοστασίου της Ρωσίας

Η Ρωσία έχει διατηρήσει και εκσυγχρονίσει μεθοδικά το πυρηνικό της οπλοστάσιο, αντιμετωπίζοντάς το ως κρίσιμο εργαλείο για τη διατήρηση της στρατηγικής της αποτροπής. Η ενίσχυση των πυρηνικών της δυνατοτήτων καθοδηγείται από παράγοντες όπως η εθνική ασφάλεια, οι γεωπολιτικές εξελίξεις και η πρόοδος της τεχνολογίας. Βασικές πτυχές αυτής της στρατηγικής περιλαμβάνουν:

1. Προγράμματα Εκσυγχρονισμού

Η Ρωσία έχει υλοποιήσει εκτεταμένα προγράμματα εκσυγχρονισμού των στρατηγικών πυρηνικών της δυνάμεων, συμπεριλαμβανομένων των Διηπειρωτικών Βαλλιστικών Πυραύλων (ICBM), των Βαλλιστικών Πυραύλων Υποβρυχίων Εκτοξεύσεως (SLBM) και των στρατηγικών βομβαρδιστικών αεροσκαφών. Ο εκσυγχρονισμός αυτός περιλαμβάνει τόσο την αναβάθμιση υπαρχόντων συστημάτων όσο και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, ενισχύοντας τη συνολική ικανότητα ανταπόδοσης.

2. Ανάπτυξη Νέων Πυραυλικών Συστημάτων

Η Μόσχα έχει παρουσιάσει νέα στρατηγικά οπλικά συστήματα, όπως ο διηπειρωτικός πύραυλος RS-24 Yars και το υπερηχητικό όχημα ολίσθησης Avangard, το οποίο μπορεί να ξεπερνά τα παραδοσιακά αντιπυραυλικά συστήματα. Τέτοια συστήματα στοχεύουν στην ενίσχυση της ικανότητας διάτρησης της άμυνας του αντιπάλου και στην αύξηση της αποτρεπτικής ισχύος της χώρας.

3. Η Στρατηγική Πυρηνική Τριάδα

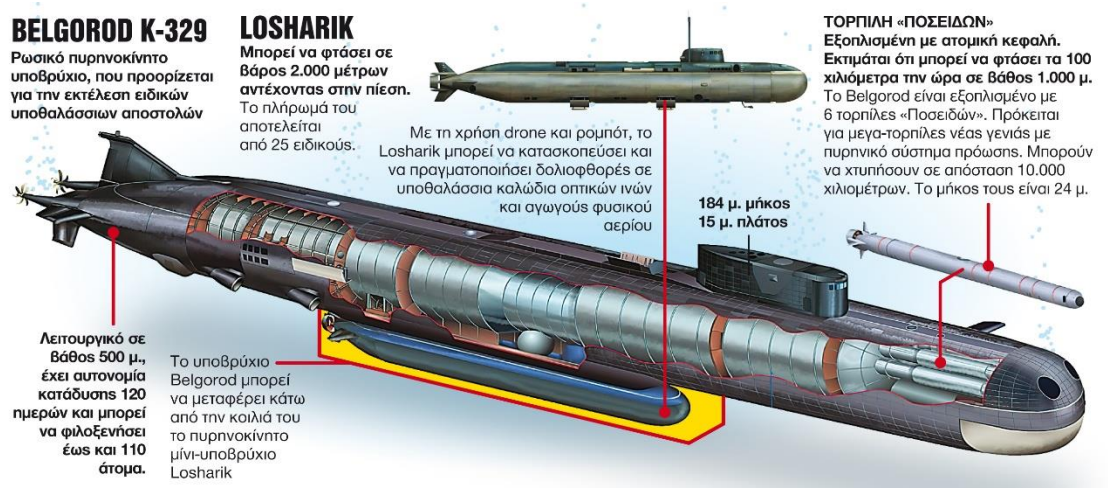
Η ρωσική στρατηγική βασίζεται στη διατήρηση της λεγόμενης "πυρηνικής τριάδας", η οποία διασφαλίζει τη δυνατότητα ανταπόδοσης από τρία διαφορετικά μέσα, ενισχύοντας τη σταθερότητα και την αποτροπή.

Διηπειρωτικοί Βαλλιστικοί Πύραυλοι (ICBM): Εκτοξεύονται από χερσαίες βάσεις και έχουν τη δυνατότητα να πλήξουν στόχους σε παγκόσμια κλίμακα.



εικόνα 10: Πύραυλος ICBBMs (defensenews.com 2017)

Πυρηνικοί Βαλλιστικοί Πύραυλοι Υποβρυχίων (SLBM): Εκτοξεύονται από υποβρύχια πλατφόρμες, προσφέροντας αυξημένη κινητικότητα, κρυψιμότητα και δυνατότητα επιβίωσης, καθώς είναι δύσκολο να εντοπιστούν πριν την εκτόξευση.



εικόνα 11: Πύραυλος SLBMs (tanea.gr, 2021)

Στρατηγικά Βομβαρδιστικά Αεροσκάφη: Πρόκειται για μεγάλης εμβέλειας αεροσκάφη ικανά να φέρουν και να εξαπολύσουν πυρηνικά όπλα από αέρος, προσφέροντας ευελιξία στην επιλογή στόχων και στον χρόνο επίθεσης. Τα αεροσκάφη αυτά μπορούν να διατηρηθούν σε ετοιμότητα ή και σε περιπολία, αυξάνοντας την αξιοπιστία της αποτροπής. Επιπλέον, η δυνατότητα ανάκλησης ή αλλαγής στόχου ακόμα και μετά την απογείωση καθιστά τη χρήση τους πιο ελεγχόμενη συγκριτικά με τους βαλλιστικούς πυραύλους.



εικόνα 12: πυρηνικό αεροσκάφος (defence-point, 2024)

Η παρουσία και των τριών αυτών πυρηνικών συστημάτων —ICBMs, SLBMs και στρατηγικών βομβαρδιστικών— ενισχύει τον στρατηγικό υπολογισμό αποτροπής της Ρωσίας. Η λογική πίσω από αυτή τη «πυρηνική τριάδα» είναι η δημιουργία μιας αξιόπιστης και επιβιώσιμης απειλής ανταπόδοσης. Η ύπαρξη

πολλαπλών πλατφορμών καθιστά σχεδόν αδύνατο για έναν αντίπαλο να εξουδετερώσει ολοκληρωτικά τις ρωσικές πυρηνικές δυνάμεις με πρώτο πλήγμα, αυξάνοντας τον κίνδυνο ολοκληρωτικής καταστροφής σε περίπτωση επίθεσης και αποτρέποντας έτσι τη χρήση πυρηνικών όπλων από οποιονδήποτε εχθρό.

Δόγμα και Πολιτική Πυρηνικής Αποτροπής

Η Ρωσία έχει υιοθετήσει μια στρατηγική πυρηνικής αποτροπής που βασίζεται σε αρχές αποτρεπτικής ισχύος και ανταποδοτικής δυνατότητας. Στο πλαίσιο αυτό, έχει συμμετάσχει ενεργά σε διεθνείς συμφωνίες ελέγχου εξοπλισμών, με κυριότερη τη νέα Συνθήκη START (New START), η οποία υπογράφηκε με τις Ηνωμένες Πολιτείες. Η εν λόγω συμφωνία στοχεύει στη μείωση και στον περιορισμό των ανεπτυγμένων στρατηγικών πυρηνικών όπλων, προάγοντας τη διαφάνεια και τη στρατηγική σταθερότητα μεταξύ των δύο υπερδυνάμεων.

5.2.3 Κυριαρχία της Ρωσίας και της Κίνας στον σχεδιασμό πυρηνικών αντιδραστήρων

Η πυρηνική ενέργεια προβλέπεται να διαδραματίσει κυρίαρχο ρόλο στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα ως μέσο παραγωγής καθαρής ενέργειας. Ωστόσο, σύμφωνα με τον εκτελεστικό διευθυντή της Διεθνούς Υπηρεσίας Ενέργειας (IEA), Φατίχ Μπιρόλ, η αξιοποίησή της σε αυτή την κατεύθυνση προϋποθέτει στενό συντονισμό μεταξύ κυβερνήσεων και ιδιωτικού τομέα—κάτι που επί του παρόντος δεν υφίσταται.

Στο σύγχρονο γεωενεργειακό τοπίο, η Ρωσία και η Κίνα κυριαρχούν στον σχεδιασμό νέων πυρηνικών αντιδραστήρων. Από το 2017, περίπου το 87% των νέων μονάδων παγκοσμίως έχουν σχεδιαστεί από τις δύο αυτές χώρες, γεγονός που υποδηλώνει την ενίσχυση της επιρροής τους στον πυρηνικό τομέα [\[41\]](#).

Ο Μπιρόλ χαρακτήρισε την πυρηνική ενέργεια ως μια «μοναδική ευκαιρία» στο σημερινό πλαίσιο των αυξημένων διεθνών τιμών ενέργειας, των προσπαθειών για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και των προκλήσεων που αφορούν την ενεργειακή ασφάλεια. Παρ' όλα αυτά,

προειδοποίησε ότι η επιστροφή της πυρηνικής ενέργειας δεν είναι διασφαλισμένη, κυρίως λόγω των περιορισμένων επενδύσεων και της πολιτικής αβεβαιότητας.

Σημειώνεται ότι σήμερα λειτουργούν πυρηνικοί αντιδραστήρες σε 32 χώρες, ενώ το 63% της παραγόμενης πυρηνικής ενέργειας προέρχεται από μονάδες άνω των 30 ετών, οι οποίες κατασκευάστηκαν κυρίως ως απόκριση στην πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του 1970, σύμφωνα με την IEA [\[41\]](#).

5.2.4 Εισαγωγές ρωσικού ουρανίου από την Κίνα

Τον Δεκέμβριο του 2023, ενώ βρίσκονταν σε εξέλιξη εμποικοδομητικές συνομιλίες μεταξύ Κινέζων και Αμερικανών διπλωματών με στόχο την αποκλιμάκωση στρατιωτικών εντάσεων, Ρώσοι μηχανικοί παρέδωσαν ένα μεγάλο φορτίο πυρηνικών καυσίμων σε μια απομακρυσμένη περιοχή της Κίνας. Η αποστολή αυτή σχετιζόταν με τον ταχέως αναπτυσσόμενο πυρηνικό αντιδραστήρα CFR-600 στο νησί Τσανμπιάο, ο οποίος έχει προσελκύσει σημαντική διεθνή προσοχή.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις των αμερικανικών υπηρεσιών πληροφοριών, ο εν λόγω αντιδραστήρας ταχείας αναπαραγωγής (fast breeder reactor) αναμένεται, μόλις τεθεί σε πλήρη λειτουργία, να παράγει πλουτώνιο σε ποσότητες ικανές να τετραπλασιάσουν το απόθεμα πυρηνικών κεφαλών της Κίνας εντός των επόμενων ετών. Μια τέτοια εξέλιξη θα επιτρέψει στο Πεκίνο να ανταγωνιστεί τα πυρηνικά οπλοστάσια των Ηνωμένων Πολιτειών και της Ρωσίας [\[42\]](#).

Η στρατηγική δυναμική στην Ασία έχει αλλάξει αισθητά μετά την κατάρρευση της συνθήκης New START —του τελευταίου εναπομείναντος συμφώνου περιορισμού στρατηγικών όπλων— ως αποτέλεσμα της ρωσο-αμερικανικής αντιπαράθεσης για τον πόλεμο στην Ουκρανία. Στις 21 Φεβρουαρίου 2022, ο Ρώσος πρόεδρος ανακοίνωσε την αναστολή της ρωσικής συμμετοχής στη συμφωνία.

Επιπλέον, στις 12 Δεκεμβρίου 2022, η ρωσική κρατική εταιρεία Rosatom προμήθευσε την Κίνα με 6.477 κιλά ουρανίου, ενισχύοντας περαιτέρω το κινεζικό πυρηνικό πρόγραμμα—γεγονός που θεωρείται ικανό να αποσταθεροποιήσει τη στρατιωτική ισορροπία στην Ασία [\[42\]](#).

Η διευρυνόμενη πυρηνική συνεργασία μεταξύ Ρωσίας και Κίνας εγείρει σοβαρές ανησυχίες για την παγκόσμια αρχιτεκτονική μη διάδοσης πυρηνικών όπλων. Σύμφωνα με στοιχεία του Royal United Services Institute (RUSI), από τον Σεπτέμβριο έως τον Δεκέμβριο του 2022, η Ρωσία εξήγαγε προς την Κίνα σχεδόν επταπλάσιες ποσότητες ουρανίου σε σύγκριση με προηγούμενες περιόδους, ενισχύοντας τις αμφιβολίες για τον ειρηνικό χαρακτήρα της συνεργασίας [\[42\]](#).

5.3 Οι ΗΠΑ και η χρήση της ατομικής ενέργειας

5.3.1 Πολιτική για την πυρηνική ενέργεια στις ΗΠΑ

Ιστορική Εξέλιξη και Ιδιωτικοποίηση

Η ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες ξεκίνησε το 1945 ως κυβερνητικό πρόγραμμα, στο πλαίσιο της μεταπολεμικής αξιοποίησης της τεχνογνωσίας από το σχέδιο Μανχάταν. Ο πρώτος πυρηνικός αντιδραστήρας που παρήγαγε ηλεκτρική ενέργεια λειτούργησε στον Εθνικό Σταθμό Δοκιμών Αντιδραστήρων στο Άινταχο τον Δεκέμβριο του 1951. Στα μέσα της δεκαετίας του 1950, η παραγωγή πυρηνικής ενέργειας επεκτάθηκε στον ιδιωτικό τομέα. Ο πρώτος πυρηνικός σταθμός μεγάλης κλίμακας παγκοσμίως, στο Shippingport της Πενσυλβάνια, ανήκε στην Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας των ΗΠΑ αλλά κατασκευάστηκε και λειτουργούσε από την εταιρεία Duquesne Light and Power Company. Σήμερα, σχεδόν όλοι οι εμπορικοί αντιδραστήρες στις ΗΠΑ ανήκουν σε ιδιωτικές επιχειρήσεις, γεγονός που καθιστά τη χώρα παγκόσμιο ηγέτη ως προς την ιδιωτική συμμετοχή στον πυρηνικό τομέα [\[43\]](#).

Νομοθετικές Πρωτοβουλίες και Ρυθμιστικό Πλαίσιο

Η πολιτική των ΗΠΑ για την πυρηνική ενέργεια συνέχισε να αναπτύσσεται μετά το 1954, με τη συνεχιζόμενη κατασκευή πυρηνικών σταθμών και τη θέσπιση σημαντικών νομοθετικών πράξεων, όπως ο Νόμος για την Ενεργειακή Αναδιοργάνωση του 1974. Οι πολιτικές αυτές καθοδηγούν τη λειτουργία της Πυρηνικής Ρυθμιστικής Επιτροπής και του Υπουργείου Ενέργειας, με αντικείμενο τη ρύθμιση και υποστήριξη της ανάπτυξης του κλάδου. Περιλαμβάνουν ρυθμίσεις για την κατασκευή και λειτουργία πυρηνικών εγκαταστάσεων, τον παροπλισμό υλικών υψηλής ποιότητας

όπλων, την εξόρυξη ουρανίου, και τη χρηματοδότηση εταιρειών πυρηνικής ενέργειας.

Πρόσφατες Πολιτικές και Δημόσια Στάση

Παρά την επιβράδυνση της ανάπτυξης του κλάδου από τη δεκαετία του 1980, η ψήφιση του Νόμου για την Ενεργειακή Πολιτική το 2005 σηματοδότησε μια προσπάθεια επανεκκίνησης της πυρηνικής βιομηχανίας μέσω παροχής εγγυήσεων για δανειοδότηση. Το 2008, η Υπηρεσία Ενεργειακών Πληροφοριών προέβλεψε την ανάπτυξη σχεδόν 17 GW νέας πυρηνικής ισχύος μέχρι το 2030. Ωστόσο, η πυρηνική καταστροφή στη Φουκουσίμα (Fukushima Daiichi) οδήγησε σε σημαντική μείωση της δημόσιας αποδοχής στις ΗΠΑ, με την υποστήριξη για την κατασκευή νέων σταθμών να υποχωρεί στο 43% [\[43\]](#).

5.3.2 Ιστορία της πολιτικής για την πυρηνική ενέργεια στις ΗΠΑ

Σχεδόν ένα χρόνο μετά τη λήξη του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, το Κογκρέσο των Ηνωμένων Πολιτειών ίδρυσε την Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (AEC) με στόχο την καθοδήγηση και προώθηση της πυρηνικής επιστήμης και τεχνολογίας σε καιρό ειρήνης. Το Κογκρέσο διακήρυξε ότι η πυρηνική ενέργεια δεν πρέπει να αξιοποιείται αποκλειστικά για στρατιωτικούς σκοπούς, αλλά και ως μέσο ενίσχυσης της παγκόσμιας ειρήνης, αντικατοπτρίζοντας την αισιοδοξία της μεταπολεμικής Αμερικής [\[43\]](#).

Ρυθμιστικό Πλαίσιο και Επιτήρηση

Η βιομηχανία πυρηνικής ενέργειας στις ΗΠΑ διέπεται από αυστηρό ρυθμιστικό πλαίσιο, περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη βιομηχανία, υπό την εποπτεία της Ρυθμιστικής Επιτροπής Πυρηνικών (NRC). Το Υπουργείο Ενέργειας συνεργάζεται στενά με την NRC για την εξασφάλιση της ασφάλειας των πυρηνικών εγκαταστάσεων, καθώς και για τη διαχείριση, μεταφορά και αποθήκευση ραδιενεργών αποβλήτων.

Ηγετική Θέση στον Παγκόσμιο Πυρηνικό Τομέα

Οι Ηνωμένες Πολιτείες διαθέτουν τον μεγαλύτερο αριθμό ενεργών πυρηνικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στον κόσμο. Από τις 441 εγκαταστάσεις που λειτουργούν παγκοσμίως, οι 104 βρίσκονται στις ΗΠΑ,

με επιπλέον 62 μονάδες να βρίσκονται υπό κατασκευή. Ο αριθμός αυτός είναι σχεδόν διπλάσιος σε σύγκριση με τις επόμενες χώρες, τη Γαλλία (58 μονάδες) και την Ιαπωνία (55 μονάδες).

Εξέλιξη της Νομοθεσίας και Άνοιγμα στον Ιδιωτικό Τομέα

Η κατασκευή πυρηνικών εγκαταστάσεων στις ΗΠΑ κορυφώθηκε κατά τις δεκαετίες του 1970 και 1980, περίοδο κατά την οποία εκδόθηκαν άδειες λειτουργίας διάρκειας 20 έως 40 ετών. Αρχικά, η κυβέρνηση των ΗΠΑ δεν επέτρεπε την ιδιωτική πρόσβαση στην πυρηνική τεχνολογία. Ο νόμος περί Ατομικής Ενέργειας του 1946, που υπογράφηκε από τον Πρόεδρο Χάρι Τρούμαν, απαγόρευε τη διάθεση πυρηνικής τεχνολογίας σε μη κρατικές οντότητες.

Η σημαντική στροφή ήρθε με τον Νόμο περί Πυρηνικής Ενέργειας του 1954, ο οποίος τροποποιήθηκε κατά τη διάρκεια της κυβέρνησης Dwight Eisenhower. Η νέα νομοθεσία επέτρεψε στον ιδιωτικό τομέα να κατασκευάζει πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και να χρησιμοποιεί κρατικά δεδομένα σχετικά με την πυρηνική τεχνολογία, υπό την προϋπόθεση συμμόρφωσης με αυστηρούς κανονισμούς και στενής συνεργασίας με την κυβέρνηση σε θέματα ασφάλειας [\[43\]](#).

5.3.3 Η Ρυθμιστική Επιτροπή Πυρηνικών στις ΗΠΑ

Ρόλος και Αρμοδιότητες

Η Ρυθμιστική Επιτροπή Πυρηνικών (Nuclear Regulatory Commission – NRC) αποτελεί την ομοσπονδιακή υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών που είναι επιφορτισμένη με τη ρύθμιση των πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, καθώς και άλλων πυρηνικών υλικών και δραστηριοτήτων. Η NRC καθορίζει πρότυπα ασφαλείας, επιβλέπει την αδειοδότηση των πυρηνικών εγκαταστάσεων και διασφαλίζει τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς πυρηνικής ασφάλειας.

Αξιολόγηση και Αδειοδοτήσεις

Η Επιτροπή έχει εξετάσει σχεδόν 20 αιτήσεις για συνδυασμένες άδειες κατασκευής και λειτουργίας (Combined Licenses – COLs) για την ανέγερση νέων πυρηνικών αντιδραστήρων, καθώς και αιτήσεις για πιστοποιήσεις

σχεδιασμού (Design Certifications) νέων τύπων αντιδραστήρων. Οι διαδικασίες αυτές αποτελούν κρίσιμα στάδια για την ανάπτυξη της επόμενης γενιάς πυρηνικών σταθμών στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Προϋπολογισμός και Εποπτεία

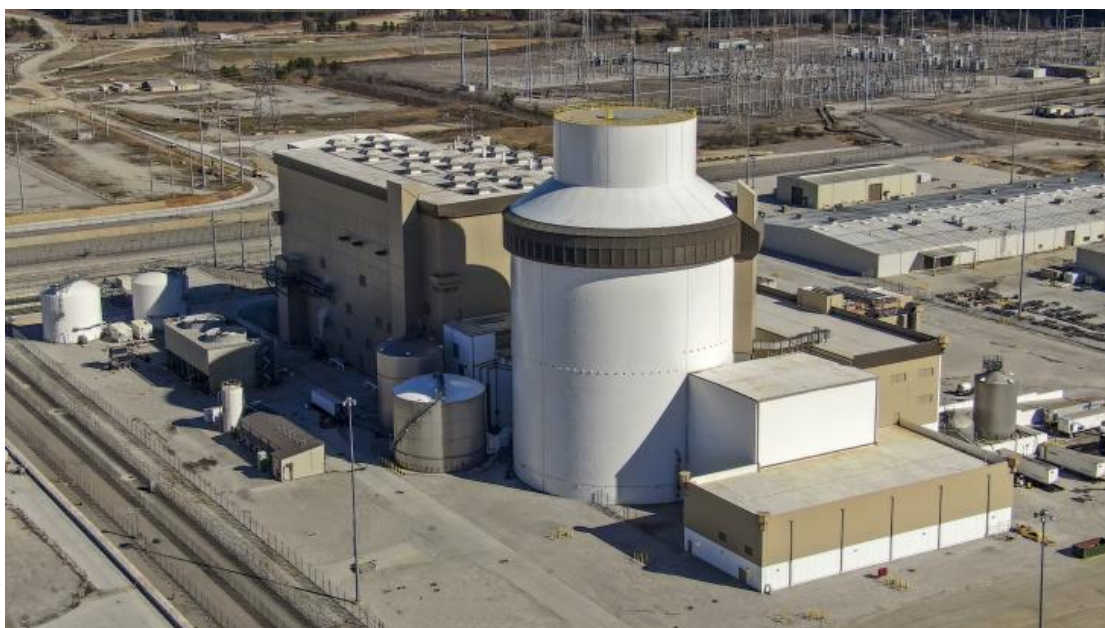
Για το οικονομικό έτος 2018, η NRC διέθεσε προϋπολογισμό ύψους 937 εκατομμυρίων δολαρίων για την εποπτεία των 99 ενεργών πυρηνικών αντιδραστήρων παραγωγής ισχύος στη χώρα. Ο συνολικός προϋπολογισμός περιλάμβανε επίσης τη ρύθμιση δραστηριοτήτων σχετικών με τη διαχείριση πυρηνικών υλικών και την ασφάλεια των ραδιενεργών αποβλήτων, διασφαλίζοντας την ολιστική εποπτεία του πυρηνικού τομέα [\[43\]](#).

5.3.4 Μεγάλες επιτυχίες των ΗΠΑ για την πυρηνική ενέργεια το 2023

Οι Ηνωμένες Πολιτείες σημείωσαν σημαντικές επιτυχίες στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας το 2023, ενισχύοντας τη στρατηγική τους για την επίτευξη καθαρών μηδενικών εκπομπών έως το 2050. Παρακάτω παρουσιάζονται εννέα βασικά επιτεύγματα: [\[43\]](#).

1. Εμπορική λειτουργία του Vogtle 3

Ο πυρηνικός αντιδραστήρας Vogtle 3 τέθηκε σε εμπορική λειτουργία στις 31 Ιουλίου 2023 στο Waynesboro της Τζόρτζια, αποτελώντας τον πρώτο αντιδραστήρα στις ΗΠΑ που συνδέθηκε με το δίκτυο από το 1996. Η μονάδα χρησιμοποιεί την προηγμένη τεχνολογία AP1000 της Westinghouse, η οποία επιτρέπει αυτόματη απενεργοποίηση χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση ή εξωτερική τροφοδοσία για έως και 72 ώρες. Με τη λειτουργία και των τεσσάρων αντιδραστήρων, το Vogtle αναμένεται να αποτελέσει μια από τις κύριες πηγές καθαρής ενέργειας της χώρας.



εικόνα 13: Πυρηνικός σταθμός Vogtle 3 (world nuclear news.org ,2023)

2. Πιστοποίηση προηγμένου αντιδραστήρα

Τον Φεβρουάριο, η Ρυθμιστική Επιτροπή Πυρηνικών (NRC) εξέδωσε τελική απόφαση για την πιστοποίηση μονάδας ισχύος 50 MW. Πρόκειται για τον πρώτο μικρό αρθρωτό αντιδραστήρα (SMR) που πιστοποιείται στις ΗΠΑ και μόλις τον έβδομο συνολικά που λαμβάνει πιστοποίηση για εμπορική χρήση.

3. Παραγωγή καθαρού υδρογόνου

Ο σταθμός Nine Mile Point στη Νέα Υόρκη ξεκίνησε νωρίτερα από κάθε άλλη χρονιά την παραγωγή καθαρού υδρογόνου με τη χρήση συστήματος ηλεκτρόλυσης χαμηλής θερμοκρασίας. Το έργο υποστηρίζεται από το Υπουργείο Ενέργειας (DOE) και αποτελεί μέρος εθνικής προσπάθειας για τη μείωση κόστους και την ενίσχυση της παραγωγής καθαρού υδρογόνου. Παραγωγή HALEU για μελλοντικούς αντιδραστήρες

Η Centrus Energy Corporation παρήγαγε 20 κιλά χαμηλού εμπλουτισμού ουρανίου υψηλής ανάλυσης (HALEU) – το πρώτο τέτοιο επίτευγμα στις ΗΠΑ τα τελευταία 70 χρόνια. Το HALEU θεωρείται κρίσιμο καύσιμο για προηγμένους πυρηνικούς αντιδραστήρες και θα χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία δύο μονάδων επίδειξης της DOE στο Οχάιο.

4. Ενίσχυση των δυνατοτήτων δοκιμών καυσίμων

Το Εθνικό Εργαστήριο του Αϊντάχο αναβάθμισε τον αντιδραστήρα TREAT, επιτρέποντας παροδικές δοκιμές σε καύσιμα ταχέων αντιδραστήρων. Η πρωτοβουλία αποτελεί μέρος κοινής έρευνας με την Ιαπωνία για τη δοκιμή καυσίμων από μικτά οξείδια και μεταλλικά κράματα. Ενίσχυση πανεπιστημιακής έρευνας

Η εταιρεία TRIGA International παρέδωσε 30 νέα στοιχεία καυσίμου στο Penn State, ενισχύοντας την ερευνητική δραστηριότητα στον πανεπιστημιακό αντιδραστήρα του ιδρύματος. Συναίνεση στη χωροθέτηση εγκαταστάσεων

Το DOE εφάρμοσε διαδικασία χωροθέτησης βασισμένη στη συναίνεση για την εύρεση ομοσπονδιακών χώρων προσωρινής αποθήκευσης πυρηνικών καυσίμων, αποσκοπώντας στη διαχείριση αποβλήτων με κοινωνική αποδοχή.

5. Ενίσχυση διεθνούς συνεργασίας

Η πυρηνική ενέργεια εντάχθηκε για πρώτη φορά στην τελική συμφωνία της COP28, με τις ΗΠΑ να δεσμεύονται για τριπλασιασμό της παγκόσμιας δυναμικότητας έως το 2050 και για την κινητοποίηση επενδύσεων άνω των 3 δισεκατομμυρίων δολαρίων.

5.4 Πυρηνική πολιτική στην Ευρώπη

5.4.1 Συμφωνία της Σουηδικής κυβέρνησης για την πυρηνική ενέργεια

Το 2016, η σουηδική κυβέρνηση ανακοίνωσε τη σύναψη συμφωνίας με την αντιπολίτευση σχετικά με τη συνέχιση της χρήσης πυρηνικής ενέργειας στη χώρα. Σύμφωνα με τη συμφωνία, η Σουηδία θα διατηρούσε τη λειτουργία των υφιστάμενων πυρηνικών σταθμών και θα προχωρούσε στην αντικατάσταση των αντιδραστήρων που πλησίαζαν στο τέλος της λειτουργικής τους ζωής [\[44\]](#).

Παρόλο που κατά την προεκλογική εκστρατεία του 2014 τα κόμματα των Σοσιαλδημοκρατών και των Πρασίνων είχαν δεσμευτεί να παγώσουν την περαιτέρω ανάπτυξη της πυρηνικής ενέργειας, τελικά κατέληξαν σε συμφωνία με την αντιπολίτευση για τη χορήγηση αδειών κατασκευής έως και δέκα νέων πυρηνικών αντιδραστήρων.

Η συμφωνία υπογράφηκε από τους Μετριοπαθείς (δεξιό κόμμα), το Κεντρώο Κόμμα και τους Χριστιανοδημοκράτες, ενώ δεν υποστηρίχθηκε από το Κόμμα της Αριστεράς, τους Φιλελεύθερους και τους Σουηδούς Δημοκράτες.

Βασικός στόχος της συμφωνίας ήταν η διασφάλιση της μακροπρόθεσμης ενεργειακής επάρκειας της χώρας. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 2014, η πυρηνική ενέργεια κάλυπτε το 38% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της Σουηδίας [\[44\]](#).

Επέκταση της πυρηνικής ενέργειας στη Σουηδία με τις ευλογίες της κυβέρνησης

Η σουηδική κυβέρνηση προχώρησε σε επικαιροποίηση της νομοθεσίας που περιόριζε τον αριθμό των πυρηνικών αντιδραστήρων και τις γεωγραφικές τους τοποθεσίες, ανοίγοντας τον δρόμο για την επέκταση της πυρηνικής ενέργειας στη χώρα.

Περισσότερα από 40 χρόνια πριν, με το δημοψήφισμα του 1980, η Σουηδία είχε αποφασίσει τη σταδιακή κατάργηση των πυρηνικών εργοστασίων έως το 2010. Έκτοτε, οι στάσεις μεταβλήθηκαν σταδιακά και η διάρκεια ζωής των υφιστάμενων αντιδραστήρων παρατάθηκε τουλάχιστον μέχρι το 2045 [\[45\]](#).

Το 2022, η Υπουργός Περιβάλλοντος Ρουμίνια Πουρμοχτάρι και ο Πρωθυπουργός Ουλφ Κρίστερσον ανακοίνωσαν τα σχέδια της κυβέρνησης για τη θέσπιση μεταρρυθμίσεων που θα επιτρέψουν την κατασκευή νέων πυρηνικών αντιδραστήρων σε επιπλέον τοποθεσίες. Η υφιστάμενη νομοθεσία περιορίζει τη λειτουργία σε 10 αντιδραστήρες και μόνο σε τρεις συγκεκριμένες περιοχές: Forsmark, Oskarshamn και Ringhals.

«Γίνονται νομοθετικές αλλαγές ώστε να καταστεί δυνατή η ανάπτυξη νέας πυρηνικής ενέργειας, περιλαμβάνοντας διαδικασίες αδειοδότησης και ταχύτερη διοικητική μεταφορά», δήλωσε ο πρωθυπουργός.

Η Υπουργός Περιβάλλοντος διευκρίνισε πως η αναθεωρημένη νομοθεσία θα επιτρέπει πλέον και την κατασκευή πυρηνικών αντιδραστήρων μεγάλης κλίμακας. Σημειώνεται ότι η πυρηνική ενέργεια καλύπτει περίπου το 40% της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται στη Σουηδία [\[45\]](#).

Εξόρυξη ουρανίου από τη Σουηδία

Η Σουηδία, αν και ιστορικά διατηρούσε αρνητική στάση απέναντι στην πυρηνική ενέργεια, πρόσφατα μετατόπισε τη στρατηγική της. Η κυβέρνηση έλαβε την απόφαση να ξεκινήσει την εξόρυξη ουρανίου, προκειμένου να ενισχύσει την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας. Η επιλογή αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι η πυρηνική ενέργεια θεωρείται πιο φιλική προς το περιβάλλον συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Σουηδία διαθέτει περίπου το 80% των γνωστών αποθεμάτων ουρανίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

5.4.2 Η Γαλλική στρατηγική

Πολιτική για την πυρηνική ενέργεια στη Γαλλία

Η Γαλλία ακολουθεί μια μακροχρόνια και στρατηγικά σχεδιασμένη πολιτική στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας. Αποτελεί μία από τις κορυφαίες χώρες παγκοσμίως στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικές πηγές και έχει βασιστεί σε μεγάλο βαθμό σε αυτήν για την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών. Τα βασικά χαρακτηριστικά της γαλλικής πυρηνικής πολιτικής συνοψίζονται στα εξής:

EDF (Électricité de France): Η κρατική εταιρεία EDF διαδραματίζει κομβικό ρόλο στην ανάπτυξη, κατασκευή και λειτουργία των πυρηνικών σταθμών της χώρας. Αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους φορείς εκμετάλλευσης πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής παγκοσμίως.

Νόμος περί Πυρηνικής Ενέργειας του 1956: Η θεσμική δέσμευση της Γαλλίας προς την πυρηνική ενέργεια ξεκινά από τη δεκαετία του 1950, με την ψήφιση του σχετικού νόμου από το γαλλικό κοινοβούλιο το 1956, ο οποίος έθεσε τα θεμέλια για τη μετέπειτα ανάπτυξη της εγχώριας πυρηνικής βιομηχανίας.

Ενεργειακή Ανεξαρτησία: Η γαλλική επιλογή πυρηνικής ενέργειας σχετίζεται στενά με την επιδίωξη ενεργειακής αυτάρκειας. Η δυνατότητα παραγωγής σταθερής και μεγάλης κλίμακας ηλεκτρικής ενέργειας μειώνει σημαντικά την εξάρτηση της χώρας από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα.

Πυρηνική Ασφάλεια: Η κυβέρνηση της Γαλλίας δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στα θέματα ασφάλειας. Οι πυρηνικές της εγκαταστάσεις λειτουργούν υπό αυστηρά

ρυθμιστικά πρότυπα και εποπτεύονται για τη διασφάλιση της προστασίας του πληθυσμού και του περιβάλλοντος.

Διαχείριση Πυρηνικών Αποβλήτων: Η Γαλλία διαθέτει μια ξεκάθαρη στρατηγική για τη διαχείριση των ραδιενεργών αποβλήτων. Η πολιτική της περιλαμβάνει μακροπρόθεσμες λύσεις αποθήκευσης και τελικής διάθεσης, με βάση τη διεθνή εμπειρία και επιστημονικά δεδομένα.

Ιστορία του πολιτικού πυρηνικού προγράμματος της Γαλλίας

Η ιστορία του πολιτικού πυρηνικού προγράμματος της Γαλλίας αναδεικνύει τη διαδρομή μέσω της οποίας η χώρα εξελίχθηκε σε έναν από τους κορυφαίους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνική ενέργεια παγκοσμίως. Μέχρι τα τέλη του 20ού αιώνα, η Γαλλία είχε αναδειχθεί ως ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός πυρηνικής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο, βάσει των εγκατεστημένων μονάδων. Από τη δεκαετία του 1990 και εξής, η πυρηνική ενέργεια καλύπτει περίπου το 75% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ το 2018 το ποσοστό αυτό ανερχόταν στο 71,7% [\[46\]](#).

Η συμβολή της Γαλλίας στον τομέα της ραδιενέργειας ξεκινά ήδη από τις αρχές του 20ού αιώνα, με σημαντικές ανακαλύψεις στον τομέα της ραδιενέργειας και των αρχικών εφαρμογών της. Κατά τη δεκαετία του 1930, Γάλλοι επιστήμονες προχώρησαν στην ανακάλυψη της τεχνητής ραδιενέργειας και στη μελέτη των μηχανισμών της πυρηνικής σχάσης, τοποθετώντας τη χώρα στην αιχμή της πυρηνικής έρευνας. Ωστόσο, ο Β' Παγκόσμιος Πόλεμος ανέκοψε τη δυναμική αυτών των προσπάθειών.

Μετά τη λήξη του πολέμου, η Γαλλία εγκαινίασε ένα φιλόδοξο και εκτεταμένο πυρηνικό πρόγραμμα, ιδρύοντας το Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) — την Επιτροπή Εναλλακτικών Ενεργειών και Ατομικής Ενέργειας. Παρά τους περιορισμένους αρχικά πόρους, σημειώθηκε σταδιακή πρόοδος. Τη δεκαετία του 1950, ο ρυθμός ανάπτυξης επιταχύνθηκε, με την εκκίνηση στρατιωτικού πυρηνικού προγράμματος που οδήγησε στη δημιουργία πυρηνικής αποτρεπτικής δύναμης τη δεκαετία του 1960. Παράλληλα, ξεκίνησε και η κατασκευή των πρώτων πυρηνικών σταθμών παραγωγής, οι οποίοι είχαν διπλό

σκοπό: την παραγωγή πλουτωνίου για στρατιωτική χρήση και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για αστική κατανάλωση [\[46\]](#).

Προσωρινές δυσκολίες που αντιμετωπίζει ο τομέας της πυρηνικής ενέργειας στη Γαλλία

Τον Μάιο του 2022, η EDF —ο μοναδικός ιδιοκτήτης και διαχειριστής των 56 πυρηνικών αντιδραστήρων της Γαλλίας, συνολικής ισχύος 61 GW— ανακοίνωσε ότι αναμένει σημαντική μείωση στην παραγωγή πυρηνικής ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, η παραγωγή για το 2022 εκτιμήθηκε ότι θα κυμανθεί μεταξύ 280 και 300 TWh, ενώ για το 2023 προβλέφθηκε ελαφρά ανάκαμψη σε 300–330 TWh. Και οι δύο αυτές εκτιμήσεις βρίσκονται αισθητά κάτω από το ιστορικά υψηλό επίπεδο των 430 TWh, που είχε καταγραφεί το 2005 [\[47\]](#).

Συνέχεια χρήσης της πυρηνικής ενέργειας από την Γαλλία παρά τις δυσκολίες

Στις 10 Φεβρουαρίου 2022, ο πρόεδρος της Γαλλίας, Εμανουέλ Μακρόν, ανακοίνωσε την πρόθεσή του να παρατείνει τη διάρκεια ζωής όλων των υφιστάμενων πυρηνικών αντιδραστήρων πέραν των 50 ετών, καθώς και να προχωρήσει στην κατασκευή 6 έως 14 νέων μεγάλων αντιδραστήρων, μαζί με μικρούς αρθρωτούς αντιδραστήρες (SMRs). Η κατασκευή του πρώτου νέου μεγάλου αντιδραστήρα αναμένεται να ξεκινήσει το 2028, με στόχο να τεθεί σε λειτουργία το 2035, ενώ το πρώτο πρωτότυπο SMR προγραμματίζεται για το 2030. Πρόκειται για την πρώτη δέσμη θετικών στρατηγικών στόχων για τη γαλλική πυρηνική βιομηχανία εδώ και δεκαετίες [\[48\]](#).

Η αλλαγή αυτή στη στάση της γαλλικής πολιτικής ηγεσίας αποδίδεται κυρίως στην παρατεταμένη ενεργειακή κρίση, η οποία έχει επαναφέρει στο προσκήνιο το ζήτημα της ενεργειακής ασφάλειας —όπως ακριβώς είχε συμβεί και κατά τη διάρκεια των πετρελαϊκών κρίσεων της δεκαετίας του 1970. Τότε, η Γαλλία δρομολόγησε ένα εκτεταμένο πρόγραμμα πυρηνικής ενέργειας, με σκοπό τη μείωση της εξάρτησής της από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων.

Η κληρονομιά αυτής της πολιτικής παραμένει ισχυρή: το 2021, περίπου 70% της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας εξακολουθούσε να παράγεται από

πυρηνική ενέργεια, το υψηλότερο ποσοστό παγκοσμίως, χάρη στους 56 πυρηνικούς αντιδραστήρες που είναι συνδεδεμένοι με το εθνικό δίκτυο.

5.4.3 Η Εξέλιξη της Πυρηνικής Πολιτικής στο Ηνωμένο Βασίλειο

Το Ηνωμένο Βασίλειο ακολουθεί μια ενεργή πυρηνική πολιτική, εστιάζοντας τόσο στη διατήρηση των υφιστάμενων πυρηνικών εγκαταστάσεων όσο και στην υλοποίηση νέων έργων. Τα κύρια σημεία της εθνικής στρατηγικής περιλαμβάνουν:

1. Διαρκής δέσμευση για την πυρηνική ενέργεια: Η βρετανική κυβέρνηση έχει εκφράσει σαφή πρόθεση να διατηρήσει την πυρηνική ενέργεια ως βασικό συντελεστή του ενεργειακού της μείγματος, θεωρώντας την ως αξιόπιστη και χαμηλών εκπομπών άνθρακα πηγή ηλεκτροπαραγωγής.

2. Hinkley Point C – Εμβληματικό έργο: Ο πυρηνικός σταθμός Hinkley Point C στο Σόμερσετ αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα έργα της πυρηνικής στρατηγικής του Ηνωμένου Βασιλείου. Περιλαμβάνει την κατασκευή δύο μονάδων τύπου EPR (European Pressurized Reactor), οι οποίες αναμένεται να αντικαταστήσουν παλαιότερους αντιδραστήρες και να ενισχύσουν τη συνολική παραγωγική ικανότητα της χώρας.

3. Προώθηση νέων πυρηνικών έργων: Η κυβέρνηση έχει εκδηλώσει ενδιαφέρον για την ενίσχυση νέων πυρηνικών επενδύσεων, στο πλαίσιο της στρατηγικής μετάβασης προς ένα ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

4. Μικροί Αρθρωτοί Αντιδραστήρες (SMRs): Το Ηνωμένο Βασίλειο διερευνά ενεργά τις δυνατότητες αξιοποίησης των Μικρών Αρθρωτών Αντιδραστήρων, οι οποίοι προσφέρουν αυξημένη ευελιξία, μειωμένο κόστος και επεκτασιμότητα. Η κυβέρνηση έχει εκφράσει προθυμία να στηρίξει την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας για την ενίσχυση και διαφοροποίηση του πυρηνικού της χαρτοφυλακίου.

5. Ενίσχυση συνεργασιών στον πυρηνικό τομέα: Η κυβέρνηση επιδιώκει τη στενή συνεργασία με τη βιομηχανία, τον ιδιωτικό τομέα και διεθνείς εταίρους, προκειμένου να εξασφαλίσει την επιτυχή υλοποίηση πυρηνικών έργων και την ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών.

Ιστορική Εξέλιξη της Πυρηνικής Πολιτικής στο Ηνωμένο Βασίλειο

Το Ηνωμένο Βασίλειο διαθέτει μακρά και πρωτοποριακή ιστορία στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας, καθώς το 1956 κατασκεύασε τον πρώτο εμπορικά λειτουργικό πυρηνικό σταθμό στον κόσμο, τον Calder Hall. Αυτή η πρώιμη έναρξη εξασφάλισε στη χώρα ηγετική θέση στην ανάπτυξη της πυρηνικής τεχνολογίας και της παρεχόμενης τεχνογνωσίας, καλύπτοντας ολόκληρο τον κύκλο ζωής των πυρηνικών εγκαταστάσεων — από τον σχεδιασμό και την κατασκευή έως τον παροπλισμό και τη διαχείριση αποβλήτων.

Η πυρηνική ενέργεια εξακολουθεί να συμβάλλει σημαντικά στο ενεργειακό μείγμα του Ηνωμένου Βασιλείου, καλύπτοντας περίπου 15–20% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, αυτό το ποσοστό αναμένεται να μειωθεί τα επόμενα χρόνια, λόγω της σταδιακής απόσυρσης αρκετών υφιστάμενων σταθμών που πλησιάζουν στο τέλος της επιχειρησιακής τους ζωής. [\[49\]](#).

5.5 Αναπτυξιακές τάσεις στην Ασία

5.5.1 Κίνα: Ηγέτης στην παραγωγή - Επένδυση της Κίνας σε πυρηνικούς αντιδραστήρες

Η Κίνα συνεχίζει να αναδεικνύεται ως παγκόσμιος ηγέτης στην ανάπτυξη πυρηνικής ενέργειας, επενδύοντας σε νέα έργα μεγάλης κλίμακας. Το Κρατικό Συμβούλιο της Κίνας ενέκρινε, στις αρχές Νοεμβρίου 2022, την κατασκευή έξι νέων πυρηνικών αντιδραστήρων, ενισχύοντας περαιτέρω τη θέση της χώρας ως το κράτος με το μεγαλύτερο αριθμό πυρηνικών έργων υπό ανάπτυξη παγκοσμίως.

Οι εγκεκριμένες μονάδες περιλαμβάνουν δύο αντιδραστήρες για καθέναν από τρεις σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, με συνολική εκτιμώμενη επένδυση 120 δισεκατομμυρίων γιουάν (περίπου 17 δισεκατομμύρια ευρώ). Με αυτή την πρωτοβουλία, η Κίνα εδραιώνει τη θέση της ως τρίτη παγκόσμια δύναμη σε αριθμό λειτουργικών και υπό κατασκευή αντιδραστήρων, μετά τις Ηνωμένες Πολιτείες και τη Γαλλία. Συγκεκριμένα, 23 από τους 55 πυρηνικούς

αντιδραστήρες που βρίσκονται σήμερα υπό κατασκευή παγκοσμίως κατασκευάζονται εντός της Κίνας [\[50\]](#).

Το πολιτικό πλαίσιο για την πυρηνική ενέργεια στην Κίνα

Το νομικό και ρυθμιστικό πλαίσιο της Κίνας για την πυρηνική ενέργεια είναι ιδιαίτερα εκτενές και θεμελιώνεται σε νομοθετικές πράξεις που θεσπίζονται από τη Μόνιμη Επιτροπή του Εθνικού Λαϊκού Κογκρέσου (NPC), διοικητικούς κανονισμούς του Κρατικού Συμβουλίου και ένα ευρύ σύνολο τεχνικών κατευθυντήριων γραμμών και προτύπων που εκδίδονται από αρμόδιες κρατικές υπηρεσίες.

Συγκεκριμένα, στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας έχουν θεσπιστεί δύο βασικοί νόμοι: ο Νόμος για την Πρόληψη και τον Έλεγχο της Ραδιενεργής Ρύπανσης και ο Νόμος για την Πυρηνική Ασφάλεια.

Παράλληλα, έχουν τεθεί σε ισχύ δέκα σύνολα διοικητικών κανονισμών, οι οποίοι καλύπτουν κρίσιμα ζητήματα όπως την εποπτεία και διαχείριση των μη στρατιωτικών πυρηνικών εγκαταστάσεων, τον έλεγχο πυρηνικών υλικών, τη διαχείριση ραδιοφαρμακευτικών προϊόντων, την ασφάλεια και προστασία από ραδιοϊσότοπα και συσκευές ακτινοβολίας, τη διαχείριση πυρηνικών ατυχημάτων, τον έλεγχο εξαγωγών πυρηνικού εξοπλισμού και υλικών διπλής χρήσης, καθώς και την εποπτεία της μη στρατιωτικής πυρηνικής ασφάλειας.

Συνολικά, έχουν αναπτυχθεί περισσότεροι από 100 κανονισμοί και πάνω από 1000 τεχνικές κατευθυντήριες γραμμές και πρότυπα, καταδεικνύοντας τον συστηματικό και αυστηρό χαρακτήρα της κινεζικής προσέγγισης στη ρύθμιση της πυρηνικής ενέργειας [\[51\]](#).

Ανανεωμένη πολιτική της Κίνας στην πυρηνική ενέργεια

Η πυρηνική πολιτική της Κίνας χαρακτηρίζεται από έντονη στρατηγική κινητικότητα και φιλόδοξους στόχους που εντάσσονται στο γενικότερο πλαίσιο ενεργειακής ασφάλειας και απανθρακοποίησης. Τα βασικά στοιχεία της πολιτικής αυτής περιλαμβάνουν:

1) Επέκταση της πυρηνικής δυναμικότητας: Η Κίνα επενδύει συστηματικά στην κατασκευή νέων πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με στόχο την

αύξηση της συνολικής πυρηνικής ικανότητας. Η στρατηγική αυτή αποσκοπεί στη μείωση της εξάρτησης από τον άνθρακα και στην κάλυψη της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης για ενέργεια.

2) Ανάπτυξη εγχώριας πυρηνικής τεχνολογίας: Η Κίνα δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην τεχνολογική αυτάρκεια, επενδύοντας στην εσωτερική ανάπτυξη προηγμένων σχεδίων αντιδραστήρων και στην ενίσχυση όλων των σταδίων του κύκλου του πυρηνικού καυσίμου, από την εξόρυξη μέχρι την επεξεργασία και αποθήκευση.

3) Διεθνής συνεργασία: Η χώρα συμμετέχει ενεργά σε διεθνή έργα πυρηνικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της συνεργασίας για την κατασκευή αντιδραστήρων σε τρίτες χώρες, αλλά και στη διαμόρφωση παγκόσμιων προτύπων μέσω της συμμετοχής σε διεθνείς οργανισμούς και συμφωνίες.

4) Πυρηνική ασφάλεια: Η ασφάλεια αποτελεί κορυφαία προτεραιότητα. Η Κίνα έχει ενισχύσει το ρυθμιστικό της πλαίσιο, υιοθετώντας βέλτιστες διεθνείς πρακτικές για την εξασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας των πυρηνικών εγκαταστάσεων. Η συνεχής αναβάθμιση των διαδικασιών επιθεώρησης και ελέγχου αντανάκλα τη δέσμευση της χώρας για την προστασία του κοινού και του περιβάλλοντος [\[51\]](#).

Ενίσχυση του πυρηνικού οπλοστασίου της Κίνας

Σύμφωνα με ετήσια έκθεση του Υπουργείου Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών για τη στρατιωτική ισχύ της Κίνας, η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας ενισχύει το πυρηνικό της οπλοστάσιο με ρυθμούς ταχύτερους από τις αρχικές προβλέψεις. Η επιτάχυνση αυτή αντανάκλα τις στρατηγικές φιλοδοξίες του προέδρου Σι Τζινπίνγκ για την εδραίωση της Κίνας ως παγκόσμιας στρατιωτικής δύναμης.

Η έκθεση, η οποία εκπονήθηκε κατ' εντολή του Κογκρέσου των ΗΠΑ, εκτιμά ότι τον Μάιο του 2023 η Κίνα διέθετε περισσότερες από 500 επιχειρησιακές πυρηνικές κεφαλές. Επιπλέον, οι προβλέψεις δείχνουν ότι το οπλοστάσιό της ενδέχεται να υπερβεί τις 1.000 κεφαλές έως το 2030, αντανakλώντας μια συνεχή και δυναμική στρατιωτική ενίσχυση στο πλαίσιο του γεωστρατηγικού ανταγωνισμού.

Ο πρώτος πυρηνικός σταθμός 4^{ης} γενιάς στην Κίνα

Η Κίνα κατέγραψε μια παγκόσμια πρωτιά θέτοντας σε λειτουργία τον πρώτο πυρηνικό σταθμό τέταρτης γενιάς, επιβεβαιώνοντας την τεχνολογική της πρόοδο στην παγκόσμια «κούρσα» για τους αντιδραστήρες του μέλλοντος. Ο πυρηνικός σταθμός Shidao Bay (Σιντάο Μπέι), ο οποίος βρίσκεται στην επαρχία Σαντόνγκ της ανατολικής Κίνας, λειτουργεί με δύο αντιδραστήρες υψηλής θερμοκρασίας ψυχόμενους με αέριο (HTGR) αντί για τους συμβατικούς αντιδραστήρες με ψύξη μέσω νερού υπό πίεση.

Η ανάπτυξη του συγκεκριμένου σταθμού εντάσσεται στο ευρύτερο εθνικό σχέδιο της Κίνας για απανθρακοποίηση του τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μετάβαση σε καθαρότερες πηγές ενέργειας. Περισσότερο από το 90% των εξαρτημάτων και των υποδομών του σταθμού είναι κινεζικής κατασκευής, όπως δήλωσε ο Ζανγκ Γιασού, ένας εκ των υπευθύνων του έργου.

Η κατασκευή ξεκίνησε το 2012, ενώ ο πρώτος από τους δύο αντιδραστήρες συνδέθηκε με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο τον Δεκέμβριο του 2021 [\[52\]](#).



εικόνα 14: πυρηνικός σταθμός 4ης γενιάς
(comereporta..gr)

5.5.2 Ιαπωνία: Προσαρμογή και Προκλήσεις

Έγκριση για αλλαγή στην Ιαπωνική πυρηνική ενέργεια από το υπουργικό συμβούλιο

Το υπουργικό συμβούλιο της Ιαπωνίας ενέκρινε νέα πολιτική για την πυρηνική ενέργεια, η οποία σηματοδοτεί σημαντική μεταστροφή από την προηγούμενη στάση απομάκρυνσης. Η πολιτική αυτή επιτρέπει πλέον την κατασκευή νέων

πυρηνικών αντιδραστήρων και την παράταση της λειτουργίας των υφιστάμενων από το προηγούμενο όριο των 40 ετών έως και τα 60 χρόνια.

Στο πλαίσιο αυτό, η πυρηνική ενέργεια αναγνωρίζεται ρητά ως βασική συνιστώσα της ενεργειακής ασφάλειας της Ιαπωνίας, ενώ επισημαίνεται και ο ρόλος της στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η χώρα σχεδιάζει να μεγιστοποιήσει τη χρήση των υφιστάμενων αντιδραστήρων, επανεκκινώντας όσο το δυνατόν περισσότερους και παρατείνοντας τη διάρκεια λειτουργίας τους με βάση νέα ρυθμιστικά πρότυπα.

Στις 21 Δεκεμβρίου 2022, η Ιαπωνική Αρχή Πυρηνικής Ρύθμισης ενέκρινε πρόταση τροποποίησης του κανονιστικού πλαισίου, η οποία επιτρέπει τη συνέχιση της λειτουργίας αντιδραστήρων πέραν του ορίου των 60 ετών. Σύμφωνα με τη νέα διάταξη, οι φορείς εκμετάλλευσης αντιδραστήρων που έχουν συμπληρώσει τουλάχιστον 30 έτη λειτουργίας υποχρεούνται να υποβάλουν μακροπρόθεσμο σχέδιο διαχείρισης, το οποίο θα πρέπει να εγκρίνεται από τη ρυθμιστική αρχή ανά δεκαετία, για να συνεχίσουν τη λειτουργία.

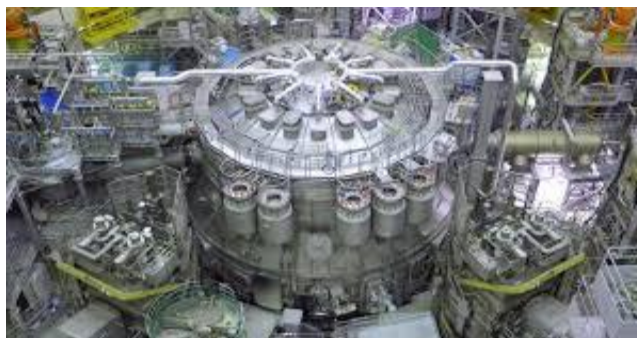
Επιπλέον, για τον υπολογισμό της συνολικής διάρκειας ζωής των μονάδων, δεν θα συνυπολογίζεται ο χρόνος που βρίσκονταν εκτός σύνδεσης λόγω επιθεωρήσεων ή άλλων εξωγενών παραγόντων. Η πολιτική αυτή ουσιαστικά επεκτείνει τον ωφέλιμο χρόνο λειτουργίας των αντιδραστήρων, ενισχύοντας τη μακροχρόνια χρήση της πυρηνικής ενέργειας στην Ιαπωνία.

Ο νέος αντιδραστήρας πυρηνικής σύντηξης JT-60SA από την Ιαπωνία και την ΕΕ

Στις αρχές Δεκεμβρίου 2022, η Ευρωπαϊκή Ένωση και η Ιαπωνία εγκαινίασαν την έναρξη λειτουργίας του JT-60SA, του μεγαλύτερου και πιο προηγμένου πειραματικού αντιδραστήρα πυρηνικής σύντηξης παγκοσμίως, ο οποίος βρίσκεται στην Ιαπωνία [\[53\]](#).

Η επίτροπος Ενέργειας της ΕΕ, Κάντρι Σίμσον, και ο υπουργός Επιστημών και Τεχνολογίας της Ιαπωνίας, Μασαχίτο Μοριγιάμα, επιβεβαίωσαν τη δέσμευση των δύο πλευρών για μακροχρόνια συνεργασία στον τομέα της πυρηνικής σύντηξης. Η συνεργασία αυτή εκτείνεται και σε διεθνή έργα μεγάλης κλίμακας, όπως το ITER, ένα φιλόδοξο διεθνές πρόγραμμα έρευνας και κατασκευής

αντιδραστήρα σύντηξης, που στοχεύει στην αναπαραγωγή των θερμοπυρηνικών διαδικασιών του Ήλιου για την παραγωγή καθαρής και απεριόριστης ενέργειας στη Γη. Το JT-60SA αποτελεί ουσιαστικό βήμα προς την εμπορική αξιοποίηση της σύντηξης και ενισχύει τη στρατηγική συνεργασία μεταξύ Ιαπωνίας και ΕΕ στον τομέα της καινοτόμου πυρηνικής τεχνολογίας.

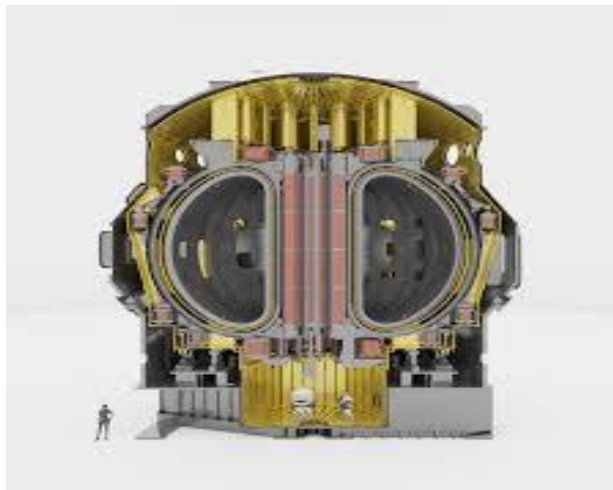


Εικόνα 15: εξωτερική μορφή του αντιδραστήρα πυρηνικής σύντηξης JT-60SA (ERTnews 2023)

Ο JT-60SA αποτελεί έναν από τους πιο προηγμένους πειραματικούς πυρηνικούς αντιδραστήρες σύντηξης παγκοσμίως και εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο της συνεργασίας Ιαπωνίας–Ευρωπαϊκής Ένωσης στον τομέα της πυρηνικής σύντηξης. Παρακάτω παρουσιάζονται βασικά στοιχεία που αφορούν το έργο:

1) Σκοπός και στόχοι

Ο JT-60SA είναι ένας υπεραγώγιμος θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας σχεδιασμένος για την έρευνα στον τομέα της μαγνητικής συγκράτησης πλάσματος. Ο κύριος στόχος του είναι η υποστήριξη της ανάπτυξης του ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), της μεγαλύτερης διεθνούς πειραματικής διάταξης σύντηξης που κατασκευάζεται στη Γαλλία.



Εικόνα 16: εσωτερική μορφή του αντιδραστήρα JT-60SA(ERTnews,2023)

2) Τεχνικά χαρακτηριστικά

Υπεραγώγιμοι μαγνήτες: Το tokamak του JT-60SA χρησιμοποιεί υπεραγώγιμους μαγνήτες (περιλαμβανομένων σπειροειδών πηνίων) για τη δημιουργία και τον σταθερό περιορισμό του πλάσματος.

Παράμετροι πλάσματος: Η διάταξη έχει σχεδιαστεί ώστε να επιτυγχάνει υψηλές θερμοκρασίες, πυκνότητες και χρόνους συγκράτησης, αναγκαίους για την προσομοίωση των συνθηκών σε μελλοντικές εμπορικές μονάδες σύντηξης.

3) Ρόλος στην έρευνα σύντηξης

Το JT-60SA αποτελεί κρίσιμη πειραματική πλατφόρμα για τη μελέτη της συμπεριφοράς του πλάσματος, τη βελτιστοποίηση τεχνικών περιορισμού και τη διερεύνηση σεναρίων λειτουργίας μελλοντικών αντιδραστήρων σύντηξης. Η ερευνητική δραστηριότητα που διεξάγεται σε αυτό συμβάλλει στην κατανόηση της φυσικής του πλάσματος και στην αντιμετώπιση των τεχνικών προκλήσεων της ελεγχόμενης πυρηνικής σύντηξης.

4) Υποστήριξη προς το ITER

Το JT-60SA λειτουργεί συμπληρωματικά ως τεχνολογική βάση δοκιμών για τον ITER, παρέχοντας πολύτιμα δεδομένα και επικυρώνοντας κρίσιμες

τεχνολογίες. Συμβάλλει ενεργά στη βελτίωση σχεδιαστικών και λειτουργικών παραμέτρων που αφορούν τις μελλοντικές συσκευές σύντηξης.

5) Κατασκευή και θέση σε λειτουργία

Η κατασκευή του JT-60SA ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 2010 και εξελίχθηκε σταδιακά σε διαδοχικές φάσεις. Το έργο αντιπροσωπεύει σημαντική επένδυση σε υποδομές σύντηξης και επιστημονική συνεργασία, προωθώντας τη μακροπρόθεσμη στρατηγική μετάβασης σε καθαρή ενέργεια μέσω της πυρηνικής σύντηξης [\[53\]](#).

5.5.3 Ινδία: Επενδύσεις και προοπτικές

Πολιτική της Ινδίας για την πυρηνική ενέργεια

Η κυβέρνηση της Ινδίας υιοθετεί τη θέση ότι η πυρηνική ενέργεια είναι απαραίτητη για την κάλυψη των αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών της χώρας. Μετά την πολιτική πυρηνική συμφωνία Ινδίας–Ηνωμένων Πολιτειών και τη συμφωνία διασφαλίσεων με τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας (IAEA), καθώς και την απόφαση της Ομάδας Πυρηνικών Προμηθευτών (Nuclear Suppliers Group) για παραχώρηση εξαίρεσης (waiver), η Ινδία αύξησε δραστικά τους στόχους της για την πυρηνική παραγωγική ικανότητα.

Από την τρέχουσα εγκατεστημένη ισχύ των 4 GW, ο στρατηγικός στόχος είναι να φτάσει τα 60 GW τις επόμενες δύο έως τρεις δεκαετίες. Μια τέτοια ραγδαία επέκταση δεν έχει προηγούμενο για καμία μορφή ενέργειας στη χώρα. Η ινδική κυβέρνηση θεωρεί αυτή τη μελλοντική ισχύ κρίσιμη για την κάλυψη του ενεργειακού ελλείμματος.

Η πολιτική πυρηνικής ενέργειας της Ινδίας βασίζεται στις εξής θεμελιώδεις αρχές:

1) Ενεργειακή Ασφάλεια

Η Ινδία στοχεύει να ενισχύσει την ενεργειακή της ασφάλεια μέσω διαφοροποίησης των ενεργειακών πηγών. Η πυρηνική ενέργεια θεωρείται αξιόπιστη και σταθερή πηγή ηλεκτροπαραγωγής που συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα.

2) Μετριασμός της Κλιματικής Αλλαγής

Η πυρηνική ενέργεια, ως πηγή με μηδενικές εκπομπές CO₂ κατά τη λειτουργία, παίζει σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Η Ινδία την εντάσσει στις προσπάθειες επίτευξης των περιβαλλοντικών της δεσμεύσεων για βιώσιμη ανάπτυξη και μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

3) Οικονομική Ανάπτυξη

Η επένδυση στην πυρηνική τεχνολογία θεωρείται καταλύτης για την οικονομική ανάπτυξη της Ινδίας. Προσφέρει δημιουργία θέσεων εργασίας υψηλής εξειδίκευσης, προώθηση τεχνολογικής καινοτομίας και ενίσχυση του βιομηχανικού οικοσυστήματος στον τομέα της ενέργειας.

4) Διεθνής Συνεργασία

Η Ινδία συμμετέχει ενεργά σε διεθνείς συμφωνίες και συνεργασίες για την ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Έχει υπογράψει διμερείς και πολυμερείς συμφωνίες με κράτη και οργανισμούς για την ανταλλαγή τεχνογνωσίας και την προώθηση κοινών ερευνητικών προγραμμάτων.

5) Ασφάλεια και Μη Διάδοση

Η Ινδία δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στην ασφάλεια των πυρηνικών εγκαταστάσεων και στη συμμόρφωση με διεθνή πρότυπα. Αν και δεν έχει υπογράψει τη Συνθήκη Μη Διάδοσης των Πυρηνικών Όπλων (NPT), τηρεί σταθερά πολιτική «μη πρώτης χρήσης» και δεσμεύεται για την υπεύθυνη χρήση της πυρηνικής τεχνολογίας.

6) Εγχώρια Ανάπτυξη Πυρηνικής Τεχνολογίας

Η Ινδία έχει αναπτύξει εγχώριες τεχνολογικές λύσεις στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας, όπως οι αντιδραστήρες βαρέος ύδατος υπό πίεση (PHWR). Ακολουθεί πρόγραμμα πυρηνικής ενέργειας τριών σταδίων, που περιλαμβάνει τη μετάβαση από PHWR σε ταχείς αναπαραγωγικούς αντιδραστήρες με χρήση θορίου, αξιοποιώντας πλήρως τους εγχώριους πόρους ουρανίου και θορίου.

Ινδία: Η δεύτερη χώρα στον κόσμο με πυρηνικό αντιδραστήρα ταχέων νετρονίων

Εδώ και δεκαπέντε χρόνια, Ινδοί πυρηνικοί επιστήμονες εργάζονται εντατικά στην εγκατάσταση του Kalpakkam, όπου υλοποιείται ένα από τα πλέον προηγμένα πυρηνικά προγράμματα της χώρας. Το Kalpakkam διαθέτει έναν ταχύ αναπαραγωγικό αντιδραστήρα (Fast Breeder Reactor – FBR), τεχνολογία που η Ινδία ανέπτυξε και τελειοποίησε σε διάστημα 27 ετών, σε αντίθεση με τους περισσότερους πυρηνικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν συμβατικούς αντιδραστήρες.

Οι ταχείς αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες διαφέρουν θεμελιωδώς από τους θερμικούς αντιδραστήρες, καθώς λειτουργούν με ταχέως κινούμενα νετρόνια που υποστηρίζουν την αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης χωρίς τη χρήση επιβραδυντών. Αυτό τους επιτρέπει να παράγουν περισσότερο πυρηνικό καύσιμο (π.χ. πλουτώνιο-239) από όσο καταναλώνουν, επιτυγχάνοντας θετικό ισοζύγιο καυσίμου [\[54\]](#).

Όπως δήλωσε ο Γιουκίγια Αμάνο, πρώην γενικός διευθυντής του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας (ΙΑΕΑ), «οι ταχείς αντιδραστήρες μπορούν να αποδώσουν έως και 70% περισσότερη ενέργεια σε σχέση με τους παραδοσιακούς αντιδραστήρες, ενώ προσφέρουν υψηλότερα επίπεδα ασφάλειας και μειώνουν σημαντικά τον χρόνο ζωής των ραδιενεργών αποβλήτων».

Η Ινδία κατέχει το δεύτερο μεγαλύτερο απόθεμα θορίου παγκοσμίως, γεγονός που την καθιστά ικανή να αναπτύξει ενεργειακά βιώσιμες λύσεις με εγχώριους πόρους. Παρά την περιορισμένη διαθεσιμότητα ουρανίου, ο πρωτότυπος αντιδραστήρας του Kalpakkam χρησιμοποιεί ράβδους φθοριούχου καυσίμου, ανοίγοντας τον δρόμο για αξιοποίηση του θορίου σε μελλοντικές φάσεις.

Η Ινδία βρίσκεται στην αιχμή της τεχνολογικής καινοτομίας στον πυρηνικό τομέα, με τον ταχύ αναπαραγωγικό αντιδραστήρα της να αποτελεί θεμέλιο για την πιθανή μετατροπή της πυρηνικής ενέργειας σε βασική ανανεώσιμη πηγή για το εθνικό ενεργειακό μείγμα [\[54\]](#).



εικόνα 17: πυρηνικός αντιδραστήρας ταχέων νετρονίων (naftemporiki.gr 2017)

Η πολιτική πυρηνικής ενεργειακής ασφάλειας της Ινδίας

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1960 και στις αρχές του 1970, η Ινδία υιοθέτησε τη στρατηγική επιλογή να εντάξει την πυρηνική ενέργεια στο εθνικό ενεργειακό της μείγμα ως συμπλήρωμα στις συμβατικές πηγές, με σκοπό την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια. Το εθνικό πυρηνικό πρόγραμμα ξεκίνησε επίσημα το 1969, με την κατασκευή των δίδυμων μονάδων στον Ατομικό Σταθμό Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Ταρπούρ (TAPS), με τεχνική και υλική υποστήριξη από τις Ηνωμένες Πολιτείες.

Οι πρώτοι δύο πυρηνικοί αντιδραστήρες βαρέος ύδατος υπό πίεση (RAPS-1 και RAPS-2) βασίστηκαν σε εγχώριο ουράνιο και κατασκευάστηκαν με την τεχνογνωσία του Καναδά. Οι μονάδες τέθηκαν σε λειτουργία τον Δεκέμβριο του 1973. Ωστόσο, το 1974, μετά την πυρηνική δοκιμή στο Pokhran στο πλαίσιο του "Peaceful Nuclear Explosion Program", ο Καναδάς απέσυρε την υποστήριξή του, ακολουθούμενος από τη Γαλλία, η οποία σταμάτησε την παροχή πυρηνικού καυσίμου για τον υπό κατασκευή Fast Breeder Test Reactor (FBTR).

Παρά την αιφνίδια διακοπή της διεθνούς βοήθειας, η ινδική κυβέρνηση επέλεξε να συνεχίσει το πρόγραμμα ανεξάρτητα, αξιοποιώντας εγχώριες ερευνητικές υποδομές και τις δυνατότητες της ινδικής βιομηχανίας. Αν και οι εξελίξεις καθυστέρησαν προσωρινά, το τεχνολογικό εμπόργκο λειτούργησε ως καταλύτης για την ανάπτυξη εγχώριων τεχνολογιών και την αντικατάσταση κρίσιμων ξένων εξαρτημάτων και υλικών.

Το RAPS-2 τέθηκε σε λειτουργία το 1981, ενώ ο FBTR κατέστη κρίσιμος το 1985, χρησιμοποιώντας καύσιμο εγχώριας παραγωγής από μείγμα καρβιδίων.

Για τις μονάδες του TAPS, η Ινδία ανέπτυξε καύσιμο μεικτού οξειδίου πλουτωνίου-ουρανίου και δημιούργησε τις απαραίτητες βιομηχανικές υποδομές για την παραγωγή του, ως εναλλακτική λύση στο εμπλουτισμένο ουράνιο.

Έκτοτε, η Ινδία ακολούθησε με συνέπεια μια πολιτική ενεργειακής αυτάρκειας στον πυρηνικό τομέα, καταφέροντας να σχεδιάζει, να κατασκευάζει και να λειτουργεί πυρηνικούς σταθμούς με ελάχιστη εξάρτηση από εξωτερική τεχνογνωσία. Είναι μάλιστα η μοναδική αναπτυσσόμενη χώρα που έχει αποδείξει διαχρονικά την τεχνική της επάρκεια στην πλήρη διαχείριση του πυρηνικού κύκλου [\[55\]](#).

5.5.4 Η περίπτωση της Νότιας Κορέας

Αύξηση της αναμενόμενης συμβολής της πυρηνικής ενέργειας από την Νότια Κορέα

Σύμφωνα με το τελευταίο ενεργειακό σχέδιο που οριστικοποίησε το Υπουργείο Εμπορίου, Βιομηχανίας και Ενέργειας της Νότιας Κορέας, η πυρηνική ενέργεια προβλέπεται να καλύπτει το 34,6% της ηλεκτροπαραγωγής της χώρας έως το 2036, έναντι 27,4% το 2021 [\[56\]](#).

Τον Ιούλιο του 2022, η κυβέρνηση ανακοίνωσε μια νέα ενεργειακή πολιτική με βασικό στόχο τη διατήρηση του μεριδίου της πυρηνικής ενέργειας στο ελάχιστο επίπεδο του 30% έως το 2030. Στο πλαίσιο αυτό, προγραμματίστηκε η κατασκευή των μονάδων 3 και 4 στον πυρηνικό σταθμό Shin Hanul, ως μέρος της επέκτασης του εθνικού πυρηνικού δυναμικού.

Η πολιτική αυτή δίνει επίσης έμφαση στην ενίσχυση των εξαγωγών στον τομέα των νέων ενεργειακών τεχνολογιών. Ένας από τους στρατηγικούς στόχους της χώρας είναι η εξαγωγή 10 πυρηνικών σταθμών έως το 2030, καθώς και η ανάπτυξη ενός κορεατικού σχεδίου Μικρού Αρθρωτού Αντιδραστήρα (SMR), ενισχύοντας τη θέση της Νότιας Κορέας στην παγκόσμια αγορά πυρηνικής τεχνολογίας [\[56\]](#).

Βασικές πτυχές για την πολιτική της πυρηνικής ενέργειας στη Νότια Κορέα

Η Νότια Κορέα έχει αναπτύξει μια πολυδιάστατη πυρηνική πολιτική, η οποία περιλαμβάνει τόσο την εσωτερική ενεργειακή της στρατηγική όσο και τον διεθνή προσανατολισμό της. Η χώρα διαθέτει και λειτουργεί σημαντικό αριθμό πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίοι καλύπτουν μεγάλο ποσοστό της εθνικής ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Στο πλαίσιο της ενεργειακής της μετάβασης και της ανάγκης για μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, η Νότια Κορέα προγραμματίζει την κατασκευή νέων πυρηνικών μονάδων. Παράλληλα, επενδύει στην ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών, όπως οι Μικροί Αρθρωτοί Αντιδραστήρες (SMR) και οι Προηγμένοι Πιεσμένοι Αντιδραστήρες Νερού (PWRs), με στόχο την ενίσχυση της αποδοτικότητας και της ασφάλειας των εγκαταστάσεων.

Ένα άλλο βασικό στοιχείο της πυρηνικής της στρατηγικής είναι ο εξαγωγικός προσανατολισμός. Η Νότια Κορέα φιλοδοξεί να καταστεί κορυφαίος διεθνής προμηθευτής πυρηνικής τεχνολογίας, προωθώντας την εξαγωγή τεχνογνωσίας και τη συμμετοχή της σε διεθνή έργα κατασκευής πυρηνικών σταθμών. Η πυρηνική ασφάλεια αποτελεί θεμελιώδη πυλώνα αυτής της στρατηγικής. Η Επιτροπή Πυρηνικής Ασφάλειας της Νότιας Κορέας έχει την ευθύνη της κανονιστικής εποπτείας και διασφαλίζει τη συμμόρφωση των πυρηνικών εγκαταστάσεων με τα διεθνή πρότυπα, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη των πολιτών και της διεθνούς κοινότητας.

Τέλος, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη μακροπρόθεσμη διαχείριση των ραδιενεργών αποβλήτων υψηλής δραστηριότητας. Στο πλαίσιο αυτό, η Νότια Κορέα έχει εκπονήσει σχέδια για την κατασκευή βαθιάς γεωλογικής αποθήκης, διασφαλίζοντας την ασφαλή και βιώσιμη αποθήκευση των αποβλήτων, σε συμφωνία με τις βέλτιστες διεθνείς πρακτικές [\[57\]](#).

Ιστορική αναδρομή στην πολιτική της πυρηνικής ενέργειας στην Νότια Κορέα

Το 1962, η Νότια Κορέα κατέγραψε την πρώτη επιτυχία της στον τομέα της πυρηνικής τεχνολογίας με τη λειτουργία του πρώτου ερευνητικού της αντιδραστήρα. Ωστόσο, σύμφωνα με αποχαρακτηρισμένα έγγραφα των ΗΠΑ, το 1975 η CIA είχε εντοπίσει ενδείξεις ότι η κυβέρνηση του προέδρου Παρκ

εξερευνούσε στρατιωτικές εφαρμογές της πυρηνικής τεχνολογίας. Η διοίκηση του προέδρου Ford συνεργάστηκε με τη Γαλλία και τον Καναδά ώστε να αποτρέψει τη Σεούλ από την απόκτηση ικανοτήτων παραγωγής πλουτωνίου. Αυτή η διεθνής πίεση οδήγησε τελικά στην κατεύθυνση της ειρηνικής αξιοποίησης της πυρηνικής ενέργειας στη Νότια Κορέα [\[57\]](#).

Ανάπτυξη Πυρηνικής Υποδομής

Το πυρηνικό εργοστάσιο Κορί αποτέλεσε τον πρώτο εμπορικά λειτουργικό σταθμό της χώρας το 1978. Από τότε, κατασκευάστηκαν επιπλέον 19 αντιδραστήρες, συμπεριλαμβανομένων 4 τύπου CANDU και 16 τύπου PWR. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990, η κυβέρνηση σχεδίαζε την κατασκευή νέου πυρηνικού σταθμού με αυξημένη κατά 10% χωρητικότητα. Σύμφωνα με το Υπουργείο Οικονομικών, το κόστος καυσίμου του κορεατικού αντιδραστήρα APR-1400 είναι κατά 23% χαμηλότερο από εκείνο του γαλλικού EPR, που θεωρείται ο πιο εξελιγμένος στον κόσμο.

Διεθνής Συνεργασία και Δημόσια Ευαισθητοποίηση

Τον Δεκέμβριο του 2010, η Μαλαισία εκδήλωσε ενδιαφέρον για την προμήθεια κορεατικής πυρηνικής τεχνολογίας. Το 2011, η Νότια Κορέα διοργάνωσε εκδηλώσεις για την ενίσχυση της κοινωνικής αποδοχής της πυρηνικής ενέργειας, με τη συμμετοχή του Γαλλικού Ατομικού Φόρουμ, του ΔΟΑΕ και ειδικών δημοσίων σχέσεων από άλλες πυρηνικά ανεπτυγμένες χώρες [\[57\]](#)

Σκάνδαλα και Κρίσεις Ασφάλειας

Τον Νοέμβριο του 2012 αποκαλύφθηκε ότι περισσότερα από 5.000 εξαρτήματα που χρησιμοποιούνταν σε πέντε αντιδραστήρες του σταθμού Yeonggwang δεν είχαν λάβει πιστοποιημένες εγγυήσεις ποιότητας. Οκτώ προμηθευτές είχαν πλαστογραφήσει συνολικά 60 εγγυήσεις, γεγονός που οδήγησε στο προσωρινό κλείσιμο δύο αντιδραστήρων. Το Reuters χαρακτήρισε το περιστατικό ως τη χειρότερη πυρηνική κρίση της χώρας, τονίζοντας την έλλειψη διαφάνειας και τον ρόλο σύγκρουσης συμφερόντων των ρυθμιστικών αρχών, που είχαν αρμοδιότητες τόσο εποπτείας όσο και προώθησης της πυρηνικής ενέργειας.

Σκάνδαλο Πλαστών Πιστοποιητικών (2013)

Το 2013 ήρθε στην επιφάνεια νέο σκάνδαλο, αυτή τη φορά για χρήση πλαστών πιστοποιητικών διασφάλισης ποιότητας σε πυρηνικά εξαρτήματα. Τον Ιούνιο του ίδιου έτους, οι αντιδραστήρες Kori 2 και Shin Wolsong 1 έκλεισαν, ενώ οι Kori 1 και Shin Wolsong 2 διατάχθηκαν να παραμείνουν εκτός λειτουργίας μέχρι να αντικατασταθούν κρίσιμα καλώδια ασφαλείας [\[57\]](#).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΔΙΑΚΡΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

6.1 Συμφωνία ΗΠΑ–Φιλιππίνων για την Ανάπτυξη Πυρηνικής Ενέργειας

Στις αρχές Νοεμβρίου 2023, οι Ηνωμένες Πολιτείες και οι Φιλιππίνες υπέγραψαν μια ιστορική διμερή συμφωνία στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας, η οποία επιτρέπει στην Ουάσιγκτον να εξάγει τεχνογνωσία, εξοπλισμό και υλικά για την κατασκευή πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στη Μανίλα. Η συμφωνία εντάσσεται στο πλαίσιο της προσπάθειας των Φιλιππίνων να επιτύχουν ενεργειακή ανεξαρτησία και παράλληλα να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας έτσι στην παγκόσμια προσπάθεια μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.

Η υπογραφή της συμφωνίας πραγματοποιήθηκε στο περιθώριο της Συνόδου Κορυφής APEC στο Σαν Φρανσίσκο, με τον Υπουργό Εξωτερικών των ΗΠΑ να δηλώνει χαρακτηριστικά:

«Οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι πλέον σε θέση να μοιραστούν εξοπλισμό και τεχνολογικό υλικό με τις Φιλιππίνες, καθώς η χώρα εργάζεται για την ανάπτυξη μικρών αρθρωτών αντιδραστήρων και άλλων μορφών μη στρατιωτικής πυρηνικής ενέργειας».

Η συμφωνία σηματοδοτεί ένα κρίσιμο βήμα για την ενεργειακή στρατηγική της Νοτιοανατολικής Ασίας, ενισχύοντας τον ρόλο των SMRs (Small Modular Reactors) ως βιώσιμη λύση για μελλοντική καθαρή ενέργεια σε αναπτυσσόμενες χώρες [\[58\]](#).

6.1.1 Περιεχόμενο και Ρυθμιστικό Πλαίσιο της Συμφωνίας ΗΠΑ–Φιλιππίνων

Η συμφωνία προβλέπει τη δυνατότητα μεταφοράς πυρηνικού υλικού, εξοπλισμού και τεχνολογικών δεδομένων από τις Ηνωμένες Πολιτείες προς τις Φιλιππίνες, με στόχο την ανάπτυξη μη στρατιωτικών εφαρμογών πυρηνικής ενέργειας. Η εφαρμογή της συμφωνίας τελεί υπό την έγκριση του Κογκρέσου των ΗΠΑ και θα υλοποιηθεί σε συμμόρφωση με τις διεθνείς συνθήκες για τη μη διάδοση των πυρηνικών όπλων (NPT).

Η εν λόγω συμφωνία εντάσσεται στο πλαίσιο της ευρύτερης στρατηγικής των ΗΠΑ για την πυρηνική συνεργασία, η οποία, μέχρι τα τέλη του 2022,

περιλάμβανε 23 συμφωνίες με 47 κράτη και με τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας (IAEA) [\[58\]](#).

6.2 Συνεργασία Ινδίας–Ρωσίας στον Τομέα της Πυρηνικής Ενέργειας

Η Ρωσία και η Ινδία έχουν ενισχύσει τη διμερή τους συνεργασία στην πυρηνική ενέργεια, εστιάζοντας τόσο στην κατασκευή πυρηνικών μονάδων όσο και στη στρατηγική τεχνολογική συνεργασία. Ο Ρώσος πρόεδρος Βλαντιμίρ Πούτιν δήλωσε σε συνέντευξή του ότι η Ρωσία διαθέτει τη δυνατότητα να κατασκευάσει έως και 25 πυρηνικές μονάδες στην Ινδία [\[59\]](#).

Στο επίκεντρο της συνεργασίας βρίσκεται ο πυρηνικός σταθμός Κουντακουλάμ, στη νότια Ινδία, όπου ήδη υλοποιείται κατασκευή νέων ενεργειακών μονάδων. Επιπλέον, η Ρωσία αναμένει τον καθορισμό τοποθεσίας από την ινδική κυβέρνηση για την ανέγερση νέου εργοστασίου ρωσικού σχεδιασμού.

Στο πλαίσιο αυτό, οι δύο χώρες σχεδιάζουν την υπογραφή πολιτικής συμφωνίας υψηλού επιπέδου, η οποία θα προσδιορίζει ένα κοινό στρατηγικό όραμα για τη διεύρυνση της συνεργασίας τους στην ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας, πέρα από την απλή κατασκευή αντιδραστήρων [\[59\]](#).

6.3 Συμφωνία μεταξύ της Ινδίας και της Ιαπωνίας για παραγωγή πυρηνικής ενέργειας

Ιστορική συμφωνία για μεταφορά τεχνολογίας

Το 2016, η Ινδία και η Ιαπωνία υπέγραψαν μια συμφωνία για την παροχή ιαπωνικού εξοπλισμού και τεχνολογίας πυρηνικής ενέργειας στην Ινδία, στο πλαίσιο των προσπάθειών της για ενεργειακή επάρκεια και οικονομική ανάπτυξη [\[60\]](#).

Πρωτοποριακή απόφαση για την Ιαπωνία

Πρόκειται για την πρώτη φορά που η Ιαπωνία —η μόνη χώρα που έχει υποστεί πυρηνική επίθεση— υπογράφει τέτοια συμφωνία με κράτος που δεν έχει υπογράψει τη Συνθήκη Μη Διάδοσης Πυρηνικών Όπλων (NPT).

Όροι και ρήτρες της συμφωνίας

Η συμφωνία προβλέπει ότι τα πυρηνικά καύσιμα και ο εξοπλισμός που θα παρασχεθούν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για ειρηνικούς σκοπούς.

Παράλληλα, υπογράφηκε ξεχωριστό έγγραφο που δίνει στην Ιαπωνία το δικαίωμα να ακυρώσει τη συμφωνία σε περίπτωση που η Ινδία πραγματοποιήσει πυρηνική δοκιμή.

Ο Πρωθυπουργός της Ινδίας Ναρέντρα Μόντι χαρακτήρισε την υπογραφή ως «ιστορικό βήμα» για την καθαρή ενεργειακή συνεργασία. Η Ινδία υποστηρίζει ότι η NPT είναι μεροληπτική και εκφράζει ανησυχίες για τα πυρηνικά προγράμματα της Κίνας και του Πακιστάν.

Επέκταση συνεργασίας μέσω Toshiba

Η Ινδία βρίσκεται επίσης σε προχωρημένες διαπραγματεύσεις με τη Westinghouse Electric, θυγατρική της ιαπωνικής Toshiba, για την κατασκευή έξι πυρηνικών αντιδραστήρων στη νότια Ινδία. Το έργο αυτό εντάσσεται στο εθνικό σχέδιο για υπερδιπλασιασμό της πυρηνικής ισχύος της χώρας μέχρι το 2032.

Ιαπωνικό ενδιαφέρον για αγορές του εξωτερικού

Μετά την καταστροφή της Φουκουσίμα και τη μείωση της εσωτερικής ζήτησης, οι Ιάπωνες κατασκευαστές, όπως η Toshiba και η Mitsubishi, αναζητούν ενεργά ευκαιρίες επέκτασης σε αγορές του εξωτερικού μέσω στρατηγικών συνεργασιών όπως αυτή με την Ινδία [\[60\]](#).

6.4 Συνεργασία μεταξύ ΗΠΑ και Τουρκίας για την εξαγορά πυρηνικών αντιδραστήρων

Στροφή της Τουρκίας στην πυρηνική ενέργεια

Καθώς η Τουρκία επιδιώκει τη σταδιακή απεξάρτηση από τον άνθρακα, τόσο η κυβέρνηση όσο και ιδιωτικές εταιρείες διερευνούν τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας ως εναλλακτική λύση χαμηλών εκπομπών.

Συζητήσεις για μικρούς αρθρωτούς αντιδραστήρες (SMR)

Βρίσκονται σε εξέλιξη διαπραγματεύσεις με τις Ηνωμένες Πολιτείες για την προμήθεια μικρών αρθρωτών πυρηνικών αντιδραστήρων (SMR), που θεωρούνται κατάλληλοι για την αντικατάσταση σταθμών παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα.

Δηλώσεις εκπροσώπου του Υπουργείου Εξωτερικών των ΗΠΑ

Ο Τζάστιν Φρίντμαν, ανώτερος σύμβουλος για την πυρηνική εμπορική ανταγωνιστικότητα, ανέφερε ότι «υπάρχει σοβαρό ενδιαφέρον για την πυρηνική ενέργεια στην Τουρκία». Σύμφωνα με τον ίδιο, υπάρχει δυναμικό για αγορά έως και 35 SMR, με στόχο την παραγωγή 1 GW πυρηνικής ενέργειας έως το 2050 [\[61\]](#).

6.5 Συνεργασία του Ιράν και της Ρωσίας στην πυρηνική ενέργεια

6.5.1 Κατασκευή της πρώτης πυρηνικής μονάδας

Το Ιράν και η Ρωσία υπέγραψαν συμφωνία για την ολοκλήρωση της κατασκευής του πυρηνικού σταθμού στο Μπουσέχρ, που βρίσκεται στο νότιο Ιράν. Ήδη από τα τέλη του 2002, τα δύο κράτη είχαν ανακοινώσει ότι ο σταθμός αναμενόταν να τεθεί σε λειτουργία το 2003, ενώ υπήρχε πρόθεση για μελλοντική συνεργασία σχετικά με την κατασκευή και δεύτερου πυρηνικού εργοστασίου.

Κατά την επίσημη τελετή υπογραφής στην Τεχεράνη, ο Ρώσος Υπουργός Ενέργειας Alexander Rumyantsev και ο επικεφαλής της Ιρανικής Υπηρεσίας Ατομικής Ενέργειας Golam Reza Akazadekh διαβεβαίωσαν ότι η λειτουργία του σταθμού θα τελεί υπό τον έλεγχο της Διεθνούς Υπηρεσίας Ατομικής Ενέργειας (IAEA) και δεν θα εξυπηρετεί στρατιωτικούς σκοπούς [\[62\]](#).

6.5.2 Αντιδράσεις των ΗΠΑ

Οι Ηνωμένες Πολιτείες εξέφρασαν ανοιχτά τη δυσαρέσκειά τους για τη συνεργασία μεταξύ Ιράν και Ρωσίας στον πυρηνικό τομέα. Η Ουάσιγκτον είχε ήδη εκφράσει επιφυλάξεις για το κατά πόσο είναι δικαιολογημένη η ανάγκη ενός πυρηνικού σταθμού σε μια χώρα με πλούσια αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου. Επιπλέον, υποστήριξε ότι η Τεχεράνη ενδέχεται να επιδιώκει την ανάπτυξη ενός μυστικού στρατιωτικού πυρηνικού προγράμματος [\[62\]](#).

6.5.3 Κατασκευή της δεύτερης πυρηνικής μονάδας

Το Ιράν ανακοίνωσε την κατασκευή δεύτερης πυρηνικής μονάδας σε συνεργασία με τη Ρωσία, έπειτα από σχετική συμφωνία που επιτεύχθηκε στη Μόσχα. Οι νέες μονάδες θα ανεγερθούν εντός του συγκροτήματος του πυρηνικού σταθμού στο Μπουσέχρ και θα προορίζονται αποκλειστικά για ειρηνικούς σκοπούς.

Ο επικεφαλής της Ρωσικής Υπηρεσίας Ατομικής Ενέργειας, Σεργκεί Κριμένκο, δήλωσε: « Υπήρξαν πολλοί που δεν θέλησαν το έργο να πάει μπροστά. Από τεχνολογικής απόψεως κανείς στην παγκόσμια βιομηχανία ατομικής ενέργειας δεν έχει καταφέρει κάτι παρόμοιο.»

Από την πλευρά του, ο επικεφαλής της Ιρανικής Υπηρεσίας Ατομικής Ενέργειας πρόσθεσε: « Αυτό το γεγονός αποτελεί ένα καλό σημάδι ότι το Ιράν και η Ρωσία μπαίνουν σε μια νέα φάση στρατηγικής συνεργασίας πάνω σε θέματα πυρηνικής ενέργειας»[\[62\]](#).

6.6 Συνεργασία των ΗΠΑ και της Ιαπωνίας στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας

Η συνεργασία μεταξύ των Ηνωμένων Πολιτειών και της Ιαπωνίας στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας είναι διαχρονικά βαθιά, στρατηγική και πολυεπίπεδη. Οι δύο χώρες έχουν συνάψει μακροχρόνια συμφωνία για την ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας, με την αρχική συμφωνία να υπογράφεται το 1988 και να τροποποιείται το 2018. Η συμφωνία αυτή περιλαμβάνει ρυθμίσεις για τη συνεργασία στην ανάπτυξη πυρηνικών τεχνολογιών, τη διαχείριση του κύκλου καυσίμου και την παροχή τεχνικής υποστήριξης.

Η συνεργασία ΗΠΑ–Ιαπωνίας εκτείνεται επίσης σε τομείς έρευνας και ανάπτυξης, με έμφαση στην ανάπτυξη προηγμένων τύπων αντιδραστήρων, την έρευνα για τον κύκλο πυρηνικών καυσίμων και τη διαχείριση και τελική διάθεση ραδιενεργών αποβλήτων. Μετά το πυρηνικό ατύχημα στη Φουκουσίμα το 2011, οι Ηνωμένες Πολιτείες προσέφεραν κρίσιμη τεχνική βοήθεια στην Ιαπωνία για τη διαχείριση της έκτακτης ανάγκης, την παρακολούθηση της ακτινοβολίας και την αξιολόγηση της ασφάλειας των εγκαταστάσεων. Η συνεργασία σε θέματα πυρηνικής ασφάλειας συνεχίζεται, με στόχο την ενίσχυση της ανθεκτικότητας και της πρόληψης.

Οι Ηνωμένες Πολιτείες αποτελούν επίσης βασικό προμηθευτή εμπλουτισμένου ουρανίου και εξαρτημάτων αντιδραστήρων για τις ανάγκες της Ιαπωνικής πυρηνικής βιομηχανίας. Παράλληλα, έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον παροπλισμό και την απορρύπανση των αντιδραστήρων του Fukushima Daiichi, παρέχοντας τεχνογνωσία και τεχνικές λύσεις σε ένα από τα πιο απαιτητικά έργα αποκατάστασης στον χώρο της πυρηνικής ενέργειας.

Σε διεθνές επίπεδο, οι δύο χώρες συμμετέχουν από κοινού στον Διεθνή Θερμοπυρηνικό Πειραματικό Αντιδραστήρα (ITER), με στόχο την προώθηση της πυρηνικής σύντηξης ως μιας καθαρής και βιώσιμης πηγής ενέργειας για το μέλλον.

Η ιστορική διαδρομή της διμερούς συνεργασίας ΗΠΑ–Ιαπωνίας ξεκινά ήδη από το 1955, με την υπογραφή της πρώτης πυρηνικής συμφωνίας. Το 1956, η Ιαπωνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας παρουσίασε το πρώτο της μακροπρόθεσμο σχέδιο, το οποίο περιλάμβανε στρατηγικές για την επανεπεξεργασία καυσίμου και την ανάπτυξη αναπαραγωγικών αντιδραστήρων. Η Ιαπωνία υπήρξε η πρώτη χώρα που εντάχθηκε στο αμερικανικό πρόγραμμα "Atoms for Peace", το οποίο προώθησε την ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Κατά τη δεκαετία του 1960, η Ιαπωνία πραγματοποίησε τη μεγαλύτερη οικονομική συνεισφορά (150 εκατομμύρια δολάρια) στο πυρηνικό πρόγραμμα των ΗΠΑ, ενώ το 1968 υπεγράφη νέα συμφωνία για την ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας, η οποία ανανεώθηκε το 1988 για 30 χρόνια και παρατάθηκε αυτόματα το 2018.

Η διμερής πυρηνική συνεργασία Ηνωμένων Πολιτειών και Ιαπωνίας θεωρείται η πιο μακροχρόνια παγκοσμίως, αποτελώντας πρότυπο διεθνούς στρατηγικής συνεργασίας για την υπεύθυνη και ειρηνική αξιοποίηση της πυρηνικής τεχνολογίας [\[63\]](#).

6.7 Συνεργασία στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας ανάμεσα στη Βουλγαρία και τη Γαλλία

Τον Φεβρουάριο του 2024, το Υπουργείο Ενέργειας της Βουλγαρίας ανακοίνωσε τη σύναψη συμφωνίας συνεργασίας με τη Γαλλία στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας για ειρηνικούς σκοπούς. Η δήλωση πρόθεσης υπογράφηκε στις 21 Φεβρουαρίου 2024, κατά τη διάρκεια συνάντησης στο Παρίσι, από τον Γάλλο Υπουργό Οικονομικών και τον Υπουργό Ενέργειας της Βουλγαρίας. Η συμφωνία αυτή θέτει τις βάσεις για ένα ευρύτερο πλαίσιο διμερούς συνεργασίας στον πυρηνικό τομέα και προβλέπει κοινή χρήση πυρηνικών προγραμμάτων, συνέργειες μεταξύ βιομηχανικών και ερευνητικών φορέων, καθώς και ενίσχυση της τεχνογνωσίας και της καινοτομίας στην πυρηνική ασφάλεια.

Η γαλλική πλευρά εξέφρασε την πρόθεσή της να επεκτείνει τη συνεργασία με τη Βουλγαρία και σε επιπλέον στρατηγικούς τομείς της πυρηνικής ενέργειας, όπως η εκπαίδευση και η ανάπτυξη δεξιοτήτων, η δημιουργία μιας αμοιβαίας εφοδιαστικής αλυσίδας και η δρομολόγηση έργων κοινού ευρωπαϊκού ενδιαφέροντος. Η βουλγαρική κυβέρνηση χαρακτήρισε τη συμφωνία αυτή ως αφετηρία για την υπογραφή περισσότερων διμερών συμφωνιών στον πυρηνικό τομέα στο μέλλον, επιβεβαιώνοντας τη στρατηγική της δέσμευση για μακροπρόθεσμη ανάπτυξη του εθνικού πυρηνικού προγράμματος με τη στήριξη ευρωπαϊκών εταιρών [\[64\]](#).

6.8 Συμφωνία πυρηνικής συνεργασίας ανάμεσα στον Καναδά και την Ινδία

Τον Φεβρουάριο του 2015, ο πρωθυπουργός της Ινδίας πραγματοποίησε επίσημη επίσκεψη στον Καναδά. Κατά τη συνάντησή του με τον Καναδό ομόλογό του, η πυρηνική ενέργεια αναδείχθηκε σε βασικό πυλώνα στρατηγικής συνεργασίας, στο πλαίσιο της προσπάθειας της Ινδίας να διαφοροποιήσει το ενεργειακό της μείγμα και να ενισχύσει την ενεργειακή της ασφάλεια. Η ινδική κυβέρνηση, υπό την ηγεσία του Narendra Modi, είχε ήδη θέσει ως προτεραιότητα την ενσωμάτωση καθαρών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με την πυρηνική ενέργεια να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο.

Η Συμφωνία Πυρηνικής Συνεργασίας (Nuclear Cooperation Agreement - NCA) μεταξύ Καναδά και Ινδίας τέθηκε σε ισχύ συνοδευόμενη από Κατάλληλη Συμφωνία Εφαρμογής. Το πλαίσιο αυτό διασφαλίζει τη συμμόρφωση με τις αρχές μη διάδοσης του Καναδά, ρυθμίζοντας αυστηρά τη χρήση των πυρηνικών υλικών για αποκλειστικά ειρηνικούς σκοπούς. Παράλληλα, υπεγράφη ξεχωριστή εμπορική συμφωνία μεταξύ της Ινδίας και της канаδικής εταιρείας Cameco για την προμήθεια 7 εκατομμυρίων λιβρών φυσικού ουρανίου σε διάστημα πέντε ετών, το οποίο προορίζεται αποκλειστικά για χρήση σε πυρηνικές εγκαταστάσεις υπό την εποπτεία της Διεθνούς Υπηρεσίας Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ).

Η συνεργασία εντάσσεται στο διεθνές πλαίσιο που καθιερώθηκε το 2008 από τον ΔΟΑΕ και την Ομάδα Πυρηνικών Προμηθευτών (NSG), με στόχο τη διευκόλυνση της πυρηνικής συνεργασίας με την Ινδία υπό αυστηρούς όρους

διαφάνειας και εποπτείας. Η Ινδία δεσμεύτηκε να διαχωρίσει τις στρατιωτικές από τις πολιτικές πυρηνικές της εγκαταστάσεις και να θέσει τις τελευταίες υπό τις διασφαλίσεις του ΔΟΑΕ. Καρπός αυτής της προσέγγισης υπήρξε η διμερής συμφωνία πυρηνικής συνεργασίας του 2010 και το ρυθμιστικό πλαίσιο που υιοθετήθηκε το 2013, με το οποίο περιορίζεται η χρήση канаδικών πυρηνικών υλικών αποκλειστικά σε επιτηρούμενες εγκαταστάσεις [\[65\]](#).

6.9 Συνεργασία στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας ανάμεσα σε Σουηδία και Γαλλία

Στις 19 Σεπτεμβρίου 2023, η Σουηδία και η Γαλλία υπέγραψαν συμφωνία συνεργασίας στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας κατά τη διάρκεια συνάντησης στις Βρυξέλλες. Τη συμφωνία υπέγραψαν η Αντιπρόεδρος της σουηδικής κυβέρνησης και Υπουργός Ενέργειας Ebba Busch και η Γαλλίδα Υπουργός Ενέργειας Agnès Pannier-Runacher. Η κοινή δήλωση προθέσεων προβλέπει την ανταλλαγή εμπειριών σχετικά με μοντέλα χρηματοδότησης που υποστηρίζουν την επέκταση της πυρηνικής ενέργειας, καθώς και τεχνική συνεργασία για τη συντήρηση, την αναβάθμιση της διάρκειας ζωής και την αύξηση της ισχύος των υφιστάμενων αντιδραστήρων. Παράλληλα, δρομολογείται η ενίσχυση των σχέσεων μεταξύ των πυρηνικών βιομηχανιών των δύο χωρών.

Η συμφωνία αποσκοπεί στη δημιουργία ενός ευνοϊκού ρυθμιστικού, βιομηχανικού και χρηματοδοτικού πλαισίου για την υλοποίηση νέων πυρηνικών έργων με υψηλά πρότυπα ασφαλείας. Επίσης, προωθείται η θεσμική υποστήριξη της πυρηνικής ενέργειας ως πυλώνα ενεργειακής ασφάλειας της Ευρώπης, με γνώμονα την τεχνολογική ουδετερότητα.

Έμφαση δίνεται στην ασφάλεια του εφοδιασμού με πυρηνικά υλικά και καύσιμα, καθώς και στη διαφοροποίηση της προέλευσης τους, προκειμένου να μειωθεί η εξάρτηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης από ρωσικά πυρηνικά προϊόντα και υπηρεσίες. Οι δύο χώρες δεσμεύονται επίσης να εμβαθύνουν τη συνεργασία τους στη διαχείριση των χρησιμοποιημένων καυσίμων, των ραδιενεργών αποβλήτων και στις εφοδιαστικές υποδομές.

Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στις στενές σχέσεις μεταξύ της Γαλλικής Αρχής Πυρηνικής Ασφάλειας (ASN) και της Σουηδικής Αρχής Ακτινοπροστασίας

(SSM), οι οποίες ενισχύουν τη ρυθμιστική σύγκλιση και την ανταλλαγή τεχνογνωσίας. Όπως δήλωσε η Υπουργός Ενέργειας της Σουηδίας, «Η αυξημένη διεθνής συνεργασία για την πυρηνική ενέργεια είναι κεντρικής σημασίας για να καταστεί δυνατή μια μαζική επέκταση της πυρηνικής ενέργειας στη Σουηδία έως το 2045» [\[66\]](#).

6.10 Ρώσο-Κινέζικη συνεργασία στην πυρηνική ενέργεια

Στις 18 Απριλίου 2021, ο Ρώσος πρόεδρος Βλαντιμίρ Πούτιν και ο Κινέζος ομόλογός του Σι Τζινπίνγκ εγκαινίασαν την κατασκευή τεσσάρων νέων πυρηνικών αντιδραστήρων στην Κίνα, σηματοδοτώντας ένα νέο κεφάλαιο στη στρατηγική τους συνεργασία. Οι νέες εγκαταστάσεις αφορούν τον τρίτο και τέταρτο αντιδραστήρα στον σταθμό Xiudapu και τον όγδοο και ένατο αντιδραστήρα στον σταθμό Tanwan, στο πλαίσιο συμφωνίας που υπογράφηκε στο Πεκίνο το 2018. Η συνεργασία χαρακτηρίστηκε και από τις δύο πλευρές ως στρατηγικής σημασίας για την ενεργειακή και τεχνολογική τους σύγκλιση.

Καθοριστικό ρόλο σε αυτή τη συνεργασία διαδραματίζουν η ρωσική εταιρεία Rosatom και η κινεζική China National Nuclear Corporation (CNNC), που έχουν αναλάβει την κατασκευή των αντιδραστήρων. Ο επικεφαλής της Rosatom, Alexei Likhachev, δήλωσε ότι το εργοστάσιο Atomash στη Volgodonsk εργάζεται με πλήρη δυναμικότητα για την υλοποίηση της παραγγελίας, η οποία περιλαμβάνει έξι σώματα αντιδραστήρα και είκοσι τέσσερις γεννήτριες ατμού. Παράλληλα, η Rosatom βρίσκεται σε πορεία κατασκευής 27 αντιδραστήρων στη Ρωσία και 9 στο εξωτερικό.

Το χρονοδιάγραμμα προβλέπει ότι οι αντιδραστήρες 7 και 8 του Tanwan θα τεθούν σε λειτουργία το 2026 και 2027 αντίστοιχα, ενώ οι αντιδραστήρες 3 και 4 του Xiudapu αναμένεται να τεθούν σε λειτουργία το 2027 και 2028. Ο σταθμός Tanwan, που βρίσκεται στην επαρχία Qiangshu της Ανατολικής Κίνας, αποτελεί τη μεγαλύτερη εγκατάσταση οικονομικής συνεργασίας Κίνας–Ρωσίας στον τομέα της πυρηνικής ενέργειας. Οι δύο πρώτοι αντιδραστήρες του σταθμού λειτούργησαν το 2007, ενώ οι τρίτος και τέταρτος τέθηκαν σε λειτουργία το 2018. Η εν λόγω συνεργασία αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του στρατηγικού βάθους των πυρηνικών σχέσεων Κίνας και Ρωσίας, ενισχύοντας

την ενεργειακή τους αυτονομία, την τεχνολογική τους πρόοδο και τη γεωπολιτική τους θέση [\[67\]](#).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΥΡΩΣΕΙΣ

7.1. Κυρώσεις κατά του Ιράν

Το Ιράν έχει αποτελέσει αντικείμενο εκτεταμένων διεθνών κυρώσεων, κυρίως λόγω της ανάπτυξης του πυρηνικού του προγράμματος. Μέχρι και πριν την εισβολή της Ρωσίας στην Ουκρανία το 2022, θεωρείτο η πιο αυστηρά κυρώσιμη χώρα στον κόσμο, με τις κυρώσεις των Ηνωμένων Πολιτειών να διαδραματίζουν τον πρωταγωνιστικό ρόλο [22].

Η πρώτη μεγάλη δέσμη κυρώσεων επιβλήθηκε τον Νοέμβριο του 1979, μετά την κατάληψη της Αμερικανικής Πρεσβείας στην Τεχεράνη από ριζοσπάστες φοιτητές και την ομηρία των Αμερικανών διπλωματών. Οι ΗΠΑ απάντησαν με την έκδοση του Εκτελεστικού Διατάγματος 12170, το οποίο προέβλεπε την επιβολή εμπορικού εμπάργκο και τη δέσμευση ιρανικών περιουσιακών στοιχείων συνολικής αξίας 8,1 δισ. δολαρίων. Τα μέτρα αυτά ήρθαν τον Ιανουάριο του 1981, στο πλαίσιο των Συμφωνιών του Αλγερίου που οδήγησαν στην απελευθέρωση των ομήρων [22].

Κατά τη δεκαετία του 1980, οι κυρώσεις επεκτάθηκαν. Το 1984, εν μέσω του πολέμου Ιράν–Ιράκ, οι ΗΠΑ απαγόρευαν κάθε μορφή στρατιωτικής βοήθειας προς το Ιράν. Τη δεκαετία του 1990, υπό την κυβέρνηση του Προέδρου Μπιλ Κλίντον, εντάθηκαν οι πιέσεις: το 1995 εκδόθηκαν δύο εκτελεστικά διατάγματα που απαγόρευαν τόσο τις αμερικανικές επενδύσεις στον ιρανικό ενεργειακό τομέα όσο και κάθε εμπορική ή επενδυτική δραστηριότητα με το Ιράν. Το 1996, θεσπίστηκε ο Νόμος Κυρώσεων Ιράν–Λιβύης (ILSA), με στόχο την αποτροπή επενδύσεων στον ενεργειακό τομέα των δύο χωρών.

Η κατάσταση επιδεινώθηκε σημαντικά το 2018, όταν ο Πρόεδρος Ντόναλντ Τραμπ ανακοίνωσε την αποχώρηση των ΗΠΑ από την Πυρηνική Συμφωνία του 2015 (JCPOA). Στις 7 Αυγούστου του ίδιου έτους, η Ευρωπαϊκή Ένωση προσπάθησε να προστατεύσει τις ευρωπαϊκές εταιρείες από τις κυρώσεις των ΗΠΑ, τροποποιώντας το νομικό της πλαίσιο. Ωστόσο, οι Ηνωμένες Πολιτείες επέβαλαν νέο κύμα κυρώσεων τον Νοέμβριο του 2018, στοχεύοντας στρατηγικούς τομείς όπως η ενέργεια, οι χρηματοπιστωτικές υπηρεσίες και το εξωτερικό εμπόριο του Ιράν. Οι κυρώσεις αποσκοπούσαν στην αποδυνάμωση του πυρηνικού και βαλλιστικού προγράμματος του Ιράν, καθώς και στην

άσκηση πίεσης για τον τερματισμό της υποστήριξής του προς εξτρεμιστικές οργανώσεις [22].

Οι διεθνείς αντιδράσεις δεν άργησαν να εκδηλωθούν. Τον Νοέμβριο του 2019, Αμερικανός αξιωματούχος προειδοποίησε ότι οποιαδήποτε χώρα συνεχίσει να αγοράζει ιρανικό πετρέλαιο θα υπόκειται σε κυρώσεις. Τον Αύγουστο του 2020, οι ΗΠΑ πρότειναν στο Συμβούλιο Ασφαλείας του ΟΗΕ την επαναφορά των διεθνών κυρώσεων κατά του Ιράν. Ωστόσο, η πρόταση απορρίφθηκε. Στις 20 Σεπτεμβρίου 2020, οι ΗΠΑ ανακοίνωσαν μονομερώς ότι οι κυρώσεις του ΟΗΕ είχαν επανενεργοποιηθεί, μια δήλωση που απορρίφθηκε τόσο από το Ιράν όσο και από τους λοιπούς συμμετέχοντες του JCPOA.

Η αμερικανική πλευρά διαμήνυσε ότι κάθε εμπλοκή σε στρατιωτικές συμφωνίες με το Ιράν, καθώς και η συνεργασία με Ιρανούς επιστήμονες, θα οδηγούσε σε επιβολή κυρώσεων από τις ΗΠΑ. Το ζήτημα του Ιράν παραμένει μέχρι σήμερα βασικό πεδίο αντιπαράθεσης μεταξύ των ΗΠΑ και πολλών άλλων διεθνών δρώντων, με τις κυρώσεις να αποτελούν το κύριο εργαλείο πίεσης προς την Τεχεράνη [22].

Ψηφίσματα του Συμβουλίου Ασφαλείας των Ηνωμένων Εθνών

Ψήφισμα 1737 (23 Δεκεμβρίου 2006): Επιβάλλει πρώτες κυρώσεις λόγω μη συμμόρφωσης του Ιράν με το Ψήφισμα 1696. Εισάγει περιορισμούς σε υλικά, τεχνολογίες και πρόσωπα που σχετίζονται με το πυρηνικό πρόγραμμα.

Ψήφισμα 1747 (24 Μαρτίου 2007): Επεκτείνει τις κυρώσεις, επιβάλλει πάγωμα περιουσιακών στοιχείων και εμπάργκο όπλων προς το Ιράν.

Ψήφισμα 1803 (3 Μαρτίου 2008): Ενισχύει το πάγωμα περιουσιακών στοιχείων. Ζητεί από τα κράτη να παρακολουθούν τραπεζικές συναλλαγές, να επιθεωρούν μεταφορικά μέσα και να παρακολουθούν ύποπτες μετακινήσεις.

Ψήφισμα 1929 (9 Ιουνίου 2010): Ενισχύει τις κυρώσεις με απαγόρευση βαλλιστικών προγραμμάτων, διεύρυνση του εμπάργκο όπλων, και περιορισμούς σε ταξίδια και υλικοτεχνική υποστήριξη προς στρατιωτικούς φορείς.

Ψήφισμα 1984 (9 Ιουνίου 2011): Παρατείνει για ένα έτος την εντολή της ομάδας εμπειρογνομόνων που στηρίζει την Επιτροπή Κυρώσεων του Ιράν.

Ψήφισμα 2049 (7 Ιουνίου 2012): Παρέχει 13μηνη παράταση στην Επιτροπή εμπειρογνομένων για τη συνέχιση της παρακολούθησης και αναφοράς για την εφαρμογή των κυρώσεων.

Ψήφισμα 2231 (20 Ιουλίου 2015): Καθορίζει χρονοδιάγραμμα για την άρση κυρώσεων, με δυνατότητα επανενεργοποίησής τους (snapback) αν το Ιράν παραβεί τους όρους του JCPOA [\[22\]](#).

7.1.4 Επιβολή κυρώσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης λόγω πυρηνικού προγράμματος του Ιράν

Από τις αρχές της δεκαετίας του 2010, οι σχέσεις μεταξύ της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του Ιράν επιδεινώθηκαν, εξαιτίας της συνεχιζόμενης διαφωνίας γύρω από το πυρηνικό πρόγραμμα της Τεχεράνης. Ως αντίδραση, η ΕΕ και οι ΗΠΑ εφάρμοσαν παράλληλα και συντονισμένα περιοριστικά μέτρα. Σύμφωνα με Ευρωπαίους αξιωματούχους, τα μέτρα που υιοθετήθηκαν συνιστούν τα αυστηρότερα που έχει επιβάλει ποτέ η ΕΕ σε τρίτη χώρα, με σημαντική ενίσχυση τους στις 15 Οκτωβρίου 2012 από το Συμβούλιο της ΕΕ.

Στις 23 Ιανουαρίου 2012, το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης εξέφρασε επίσημα τις ανησυχίες του για το πυρηνικό πρόγραμμα του Ιράν, προχωρώντας σε ένα νέο πακέτο κυρώσεων. Τα βασικά μέτρα περιλάμβαναν την εφαρμογή εμπάργκο στις εισαγωγές ιρανικού πετρελαίου, το πάγωμα των περιουσιακών στοιχείων της Κεντρικής Τράπεζας του Ιράν και την απαγόρευση συναλλαγών σε πολύτιμα μέταλλα προς και από τη χώρα. Οι αποφάσεις αυτές ενίσχυσαν τον Κανονισμό 423/2007 του Συμβουλίου, ο οποίος είχε ήδη επικαιροποιηθεί το 2010.

Παράλληλα, υιοθετήθηκαν επιπλέον περιοριστικά μέτρα που κάλυπταν ευρύ φάσμα τομέων. Συγκεκριμένα, επιβλήθηκαν περιορισμοί στο εξωτερικό εμπόριο, τις χρηματοπιστωτικές υπηρεσίες και τις ενεργειακές τεχνολογίες. Ιδιαίτερα σημαντική ήταν η απαγόρευση στους ασφαλιστικούς και αντασφαλιστικούς οργανισμούς της ΕΕ να παρέχουν υπηρεσίες σε ιρανικά κρατικά συμφέροντα ή επιχειρήσεις.

Ως αντίδραση σε αυτές τις κυρώσεις, το Ιράν απείλησε με το ενδεχόμενο αποκλεισμού των Στενών του Ορμούζ —μιας στρατηγικής σημασίας θαλάσσιας οδού μέσω της οποίας μεταφέρεται σημαντικό ποσοστό του παγκόσμιου

πετρελαίου—, κίνηση που ανέδειξε τη γεωπολιτική βαρύτητα της περιοχής και την εντεινόμενη ενεργειακή ένταση μεταξύ Ιράν και Δύσης [\[22\]](#).

7.1.5 Κυρώσεις του SWIFT (Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication)

Το τραπεζικό δίκτυο SWIFT (Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication), το οποίο αποτελεί τον βασικό μηχανισμό παγκόσμιων ηλεκτρονικών χρηματοοικονομικών συναλλαγών, διέκοψε τη σύνδεση όλων των ιρανικών τραπεζών με το διεθνές του δίκτυο στις 17 Μαρτίου 2012. Η απόφαση αυτή ελήφθη κατόπιν συμφωνίας των 23 κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και υλοποιήθηκε με απόφαση του Συμβουλίου της ΕΕ, βάσει της οποίας οι εν λόγω ιρανικές τράπεζες χαρακτηρίστηκαν ως οντότητες που παραβιάζουν τις ισχύουσες ευρωπαϊκές κυρώσεις. Η αποσύνδεση από το SWIFT είχε σημαντικές συνέπειες, καθώς απέκλεισε το Ιράν από το διεθνές χρηματοπιστωτικό σύστημα, δυσχεραίνοντας σοβαρά τις διακρατικές οικονομικές συναλλαγές του [\[22\]](#).

7.1.6 Απαγορεύσεις και κυρώσεις που επέβαλαν κάποιες χώρες στο Ιράν

Πολλές χώρες επέβαλαν μονομερείς κυρώσεις στο Ιράν, στοχεύοντας κυρίως το πυρηνικό του πρόγραμμα και δραστηριότητες που συνδέονται με τη στρατιωτική και οικονομική ενίσχυση του καθεστώτος:

Αυστραλία: Επέβαλε εμπάργκο όπλων, οικονομικές κυρώσεις και ταξιδιωτικούς περιορισμούς σε άτομα και οργανισμούς που συνδέονται με το πυρηνικό πρόγραμμα του Ιράν ή συνδράμουν στην παράκαμψη των διεθνών κυρώσεων.

Καναδάς: Εφάρμοσε απαγορεύσεις που περιλαμβάνουν: εμπάργκο όπλων και ευαίσθητων ειδών, απαγόρευση οικονομικών σχέσεων με ιρανικές τράπεζες, επενδύσεις στους τομείς πετρελαίου και φυσικού αερίου, αγορά κρατικού χρέους του Ιράν και απαγόρευση ίδρυσης ιρανικών οικονομικών οντοτήτων στον Καναδά. Ωστόσο, ο Καναδάς διατηρεί τη δυνατότητα να εκδίδει άδειες για συγκεκριμένες εξαιρέσεις.

Ινδία: Αν και εξαρτάται ενεργειακά από το Ιράν (12% των εισαγωγών πετρελαίου), εφάρμοσε απαγορεύσεις εξαγωγής ειδών και τεχνολογίας που θα μπορούσαν να ενισχύσουν το πυρηνικό πρόγραμμα του Ιράν. Παράλληλα,

εξέφρασε την αντίθεσή της στις κυρώσεις των ΗΠΑ το 2012, εμποδίζοντας την είσοδο ιρανικών πλοίων λόγω ασφαλιστικών περιορισμών.

Ισραήλ: Εφαρμόζει πλήρη απαγόρευση εμπορίου και ταξιδιών με το Ιράν. Έχει υιοθετήσει νομοθετικά μέτρα κατά εταιρειών που παραβιάζουν διεθνείς κυρώσεις, ενώ έχει δημιουργήσει εθνικό μηχανισμό παρακολούθησης και επιβολής για την αποτροπή εμπορικών συναλλαγών με το Ιράν.

Ιαπωνία: Περιορίσε τις χρηματοοικονομικές συναλλαγές με επιλεγμένες ιρανικές τράπεζες, επέβαλε απαγορεύσεις σε επενδύσεις στον ενεργειακό τομέα και πάγωσε περιουσιακά στοιχεία σχετιζόμενα με το πυρηνικό πρόγραμμα. Το 2012, ανακοίνωσε τη μείωση των εισαγωγών ιρανικού πετρελαίου κατά 10%.

Νότια Κορέα: Επέβαλε κυρώσεις σε 126 ιρανικά άτομα και εταιρείες. Μαζί με την Ιαπωνία, απορροφούν το 26% των εξαγωγών πετρελαίου του Ιράν, γεγονός που ενισχύει τον οικονομικό αντίκτυπο των κυρώσεων.

Ελβετία: Απαγόρευσε την εξαγωγή αγαθών και τεχνολογίας διπλής χρήσης, ειδών σχετιζόμενων με την πετρελαϊκή και φυσικού αερίου βιομηχανία, καθώς και τη χρηματοδότηση ιρανικών βιομηχανιών. Επίσης, επέβαλε περιορισμούς στις χρηματοπιστωτικές υπηρεσίες προς το Ιράν.

7.2 Κυρώσεις κατά της Ινδίας

Το 1998, οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής επέβαλαν οικονομικές κυρώσεις στην Ινδία ως αντίδραση στη διεξαγωγή υπόγειων πυρηνικών δοκιμών, οι οποίες προκάλεσαν έντονες διεθνείς αντιδράσεις και ανησυχίες για την περιφερειακή ασφάλεια στη Νότια Ασία. Οι δοκιμές αυτές, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε δύο φάσεις μέσα σε λίγες ημέρες, σηματοδότησαν την επιστροφή της Ινδίας στο προσκήνιο των πυρηνικών εξοπλισμών, πυροδοτώντας ανησυχίες για νέο κύκλο εξοπλισμών στην περιοχή.

Ο τότε Πρόεδρος των ΗΠΑ, Μπιλ Κλίντον, ανακοίνωσε επισήμως την επιβολή κυρώσεων, δηλώνοντας χαρακτηριστικά: «Δημιουργούν ξεκάθαρα μια επικίνδυνη νέα αστάθεια στην περιοχή τους και, ως εκ τούτου, σύμφωνα με τη νομοθεσία των ΗΠΑ, αποφάσισα να επιβάλω κάποιες οικονομικές κυρώσεις στην Ινδία» [68].

Οι κυρώσεις περιλάμβαναν τον άμεσο τερματισμό κάθε μορφής οικονομικής βοήθειας των Ηνωμένων Πολιτειών προς την Ινδία, με εξαίρεση την ανθρωπιστική βοήθεια, η οποία ανερχόταν σε περίπου 142 εκατομμύρια δολάρια ετησίως. Επίσης, επιβλήθηκαν περιορισμοί στην εξαγωγή αμυντικού και τεχνολογικού εξοπλισμού, με στόχο την παρεμπόδιση της περαιτέρω στρατιωτικής και πυρηνικής ενίσχυσης της Ινδίας.

Ένα ακόμη κρίσιμο μέτρο των κυρώσεων ήταν η διπλωματική παρέμβαση των ΗΠΑ στα διεθνή χρηματοπιστωτικά ιδρύματα. Η Ουάσινγκτον αντιτάχθηκε στη χορήγηση νέων δανείων προς την Ινδία από οργανισμούς όπως η Παγκόσμια Τράπεζα, από την οποία η Ινδία είχε δανειστεί περίπου 1,5 δισεκατομμύριο δολάρια μόνο το 1997.

Οι κυρώσεις του 1998 αποτέλεσαν μία από τις πιο έντονες αντιδράσεις της διεθνούς κοινότητας απέναντι σε δοκιμές πυρηνικών όπλων στην μεταψυχροπολεμική εποχή και υπογράμμισαν τη σημασία του πυρηνικού ελέγχου και της μη διάδοσης για την παγκόσμια σταθερότητα [\[68\]](#).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ανέδειξε τον κομβικό ρόλο της πυρηνικής ενέργειας στο σύγχρονο διεθνές περιβάλλον. Η πυρηνική τεχνολογία συνιστά ταυτόχρονα ευκαιρία και πρόκληση: από τη μία πλευρά, αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης και της κλιματικής αλλαγής μέσω της παραγωγής ενέργειας με χαμηλές εκπομπές άνθρακα· από την άλλη, συνεπάγεται σοβαρούς κινδύνους, τόσο για τη διασπορά όπλων μαζικής καταστροφής όσο και για πιθανές περιβαλλοντικές καταστροφές.

Οι διεθνείς μηχανισμοί ελέγχου, όπως η Συνθήκη για τη Μη Διάδοση των Πυρηνικών Όπλων (NPT) και ο ρόλος οργανισμών όπως ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ), αποδείχθηκαν καίριας σημασίας για τη ρύθμιση και επιτήρηση της ειρηνικής χρήσης της πυρηνικής ενέργειας. Παράλληλα, η ανάπτυξη πυρηνικών προγραμμάτων από κράτη με αντικρουόμενα γεωστρατηγικά συμφέροντα —όπως το Ιράν, η Σαουδική Αραβία, η Ρωσία, οι ΗΠΑ και η Κίνα— έχει αναδιαμορφώσει τις διεθνείς ισορροπίες, οδηγώντας σε κυρώσεις, στρατηγικές συμμαχίες και ενίοτε εντάσεις.

Τα μεγάλα πυρηνικά ατυχήματα, με χαρακτηριστικά παραδείγματα το Τσερνόμπιλ και τη Φουκουσίμα, επιβεβαιώνουν την ανάγκη για αυστηρή ρύθμιση, διαφάνεια και διεθνή συνεργασία στους τομείς της ασφάλειας και της πρόληψης. Παράλληλα, η τεχνολογική πρόοδος στον τομέα της πυρηνικής σύντηξης δημιουργεί προσδοκίες για ένα μελλοντικό ενεργειακό μοντέλο σχεδόν απεριόριστης και καθαρής ενέργειας, υπό την προϋπόθεση ότι θα ξεπεραστούν οι τεχνικές και επιστημονικές προκλήσεις που παραμένουν.

Πέραν της τεχνολογικής και περιβαλλοντικής διάστασης, η πυρηνική ενέργεια λειτουργεί ως **στρατηγικό εργαλείο άσκησης διεθνούς πολιτικής**. Η χρήση της σε διμερή ή πολυμερή συμφωνητικά πλαίσια μπορεί να ενισχύσει ή να ανατρέψει συσχετισμούς ισχύος. Ενδεικτικά, οι Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιούν τη στήριξη προς το πυρηνικό πρόγραμμα της Σαουδικής Αραβίας ως μέρος μιας ευρύτερης στρατηγικής απομόνωσης του Ιράν. Αντίστοιχα, η Ρωσία αξιοποιεί τη Rosatom για την εξαγωγή πυρηνικής τεχνολογίας σε χώρες της Αφρικής και της Ασίας, ενισχύοντας τη γεωπολιτική

της επιρροή. Οι κυρώσεις κατά του Ιράν, καθώς και η Συμφωνία JCPOA, αναδεικνύουν τον έλεγχο της πυρηνικής τεχνολογίας ως εργαλείο περιορισμού της περιφερειακής ισχύος ενός κράτους. Τέλος, η πυρηνική συνεργασία Ρωσίας–Κίνας συνιστά σαφές αντίβαρο στην κυριαρχία της δυτικής τεχνογνωσίας και προσδιορίζει μια νέα ισορροπία δυνάμεων στον τομέα της ενέργειας.

Σε έναν διαρκώς μεταβαλλόμενο γεωπολιτικό κόσμο, η μεγαλύτερη πρόκληση για τις διεθνείς σχέσεις παραμένει η εξισορρόπηση μεταξύ της προώθησης της πυρηνικής ενέργειας για ειρηνικούς σκοπούς και της αποτροπής της στρατιωτικής της εκμετάλλευσης. Η υπεύθυνη χρήση της πυρηνικής τεχνολογίας, η διαρκής επιστημονική έρευνα, η διεθνής διαφάνεια και η πολυμερής συνεργασία αποτελούν αναγκαίες προϋποθέσεις για τη διασφάλιση της παγκόσμιας ειρήνης και ασφάλειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] World Nuclear Association (WNA), 2023. Nuclear power and the environment. <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-and-the-environment.aspx>
- [2] MAX PLANK INSTITUTE,(2024), The discovery of Nuclear Fission, <https://www.mpic.de/4469988/die-entdeckung-der-kernspaltung>
- [3] Ammy Tikanen, (2024), Structure and Stability of nuclear matter, https://chem.libretexts.org/Courses/CSU_Chico/CHEM_107_-_General_Chemistry_for_Applied_Sciences/CHEM_107_General_Chemistry_for_Applied_Sciences/14%3A_Nuclear_Chemistry/14.1%3A_Nuclear_Structure_and_Stability
- [4] Field, J. H. et al., 2023. *On the Philosophical Nature of Einstein's Mass–Energy Equivalence Formula*. *Found Sci*.
- [5] Σαμψωνίδης, Δ. (2014). Σχάση --Σύντηξη. http://skiathos.physics.auth.gr/atlas/Nuclear_Physics/2014/T2/Sampsonidis/Fission_Fussion.pdf
- [6] Matthew Lancotot, (June 2022), DOE Explains.... Nuclear Fusion Reactions, <https://www.energy.gov/science/doe-explainsnuclear-fusion-reactions>
- [7] International Atomic Energy Agency, 2016. *Fundamentals of Nuclear Reactor Physics*. Vienna: IAEA
- [8] Nuclear Reactor Laboraty, (2023), The Fission Process, <https://nrl.mit.edu/reactor/fission-process>
- [9] Nuclear Regulatory Commission. (n.d.). What is a Nuclear Reactor? <https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/related-info/what-is-a-reactor.html>

- [10] Ερευνητικός Πυρηνικός Αντιδραστήρας,
<https://inrastes.demokritos.gr/el/infrastructures/erevnitikos-pyrinikos-antidrastras/>
- [11] U.S NRC, (26/01/2024), Backgrounder on Radioactive Waste,
<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/radwaste.html>
- [12] U.S. Department of Energy, Office of Nuclear Energy, 2024. *Advantages and Challenges of Nuclear Energy*.
- [13] Τρικκαλιώτη Σουλτάνα- Άννα, (2018), *Θεσμικό Πλαίσιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ευρώπη και Σχέδια Δράσης*, Ερευνητική Εργασία, Τμήμα μηχανικών χωροταξίας και ανάπτυξης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- [14] International Atomic Energy Agency, What is the IAEA,
<https://committees.parliament.uk/committee/135/science-innovation-and-technology-committee/news/196805/strategic-plan-needed-to-deliver-nuclear-power-and-close-the-power-gap/>
- [15] International Atomic Energy Agency, What is the IAEA,
<https://committees.parliament.uk/committee/135/science-innovation-and-technology-committee/news/196805/strategic-plan-needed-to-deliver-nuclear-power-and-close-the-power-gap/>
- [16] United Nations, Treaty on the Non- Proliferation of Nuclear Weapons(NPT), <https://disarmament.unoda.org/wmd/nuclear/npt/text>
- [17] CTBTO, TEXT OF THE TREATY, <https://www.ctbto.org/our-mission/the-treaty>
- [18] IFNEC, (16/06/2010), History of IFNEC,
https://www.ifnec.org/ifnec/jcms/g_5150/history
- [19] Σύμβαση για την Πυρηνική Ασφάλεια(CNS),
<https://www.iaea.org/topics/nuclear-safety-conventions/convention-nuclear-safety>

- [20] Ατζέντα 21 (Agenda 21) ,
<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>
- [21] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Συμφωνία του Παρισιού ,
https://ypen.gov.gr/perivallon/klimatiki-allagi/diethneis-diapragmatefseis/symvasi-plaisio-ton-ie-gia-tin-klimati/?utm_source=chatgpt.com
- [22] Ait Abderahhim, (2016), SNETP- Sustainable Nuclear Energy Technology Platform, <https://inis.iaea.org/records/9gwbd-yyz89>
- [23] World Nuclear Association, 2023. *Generation IV Nuclear Reactors*. London: WNA.
- [24] International Atomic Energy Agency, 2020. *ITER: The world's largest fusion experiment*. IAEA Bulletin.
- [25] Ευφροσύνη Μπασέκη, (2018), *Πυρηνική ενέργεια και εγγυήσεις ασφάλειας*, Μεταπτυχιακό, Σχολή Νομικής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
- [26] Autorité de sûreté nucléaire. (2021). *The ASN in brief*.
<https://www.asn.fr/Inbrief>
- [27] Antonia Calafat et al., 2013. *The Root Causes and Impacts of Three Severe Accidents at Large Civilian Nuclear Power Plants*. *Journal of Nuclear Safety Studies*.
- [28] World Nuclear Association, (06/10/2020), Tokaimura Criticality Accident 1999, <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/tokaimura-criticality-accident>
- [29] Hans Blinks, (1989), International law and nuclear energy: Overview of the legal framework, <https://www.iaea.org/sites/default/files/37302081625.pdf>
- [30] Patricia Guevara, (13/12/2023), Understanding Energy Security, <https://safetyculture.com/topics/energy-security/>
- [31] International Atomic Energy Agency, 2025. *Statement on the situation in Iran*, 13 June 2025. Vienna: IAEA.

- [32] Mark Fitpatrick,(27/11/2024), Η διπλωματία του Ιράν για τα πυρηνικά, <https://www.capital.gr/think-tank/2167354/i-diplomatia-tou-iran-gia-ta-purinika/>
- [33] Newsroom, (06/08/2020,) Η Σαουδική Αραβία προχωρά το πυρηνικό πρόγραμμά της, https://www.defencenet.gr/asfaleia/diethnis-asfaleia/900997_i-saoydiki-arabia-prohora-pyriniko-programma-tis/
- [34] World Nuclear News, (28/09/2023), Saudi Arabia reiterates plans for nuclear energy, <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Saudi-Arabia-reiterates-plans-for-nuclear-energy>
- [35] Συντακτική ομάδα ertnews.gr, (11/01/2023), Σαουδική Αραβία: Από το ουράνιο στην πυρηνική ενέργειας, <https://www.ertnews.gr/eidiseis/diethni/saoydiki-aravia-apo-to-oyranio-stin-pyriniki-energeia/>
- [36] Manuel Herrera, (29/11/2023), Saudi's Arabia Nuclear Ambition: Frozen Once Again? , <https://www.iai.it/en/publicazioni/saudi-arabias-nuclear-ambitions-frozen-once-again>
- [37] Sara Anabtawi, (01/06/2011), Saudi plans to built 16 nuclear reactors until 2030, <https://www.reuters.com/article/saudi-nuclear-idAFLDE75004Q20110601>
- [38] Φάνης Ζώης, Σαουδική Αραβία: Δέσμευση για τη δημιουργία ενός προγράμματος πυρηνικής ενέργειας, *Η ΝΑΥΤΕΜΠΟΡΙΚΗ*, 211(28), 30-33 p. (26/09/2023),
- [39] Capital, (14/11/2021), Η Τουρκία διψά για πυρηνική ενέργεια, <https://www.capital.gr/diethni/3594900/i-tourkia-dipsa-gia-puriniki-energeia-kai-oxi-mono/>
- [40] Newsroom, (12/12/2023), Ακκούγιου: Ένα βήμα πιο κοντά στη λειτουργία του σταθμού, <https://www.kathimerini.gr/world/562778419/toyrkia-prasino-fos-gia-tin-anatesi-leitoyrgias-pyrinikoy-stathmoy-sto-akoygiou/>
- [41] NEWSROOM, (01/07/2022), IEA: Η Ρωσία και η Κίνα κυριαρχούν στον σχεδιασμό των πυρηνικών αντιδραστήρων,

<https://www.moneyreview.gr/business-and-finance/82508/iea-rosia-kai-kina-kyriarchoyn-sto-schediasmo-ton-pyrinikon-antidrastiron/>

[42] Newsroom, Οι εισαγωγές ρωσικού ουρανίου από την Κίνα προκαλούν φόβο για νέα κούρσα εξοπλισμών, *Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ*, 23(3) (01/03/2023),

[43] World Nuclear Association, 2025. *US Nuclear Power Policy*. London: WNA.

[44] World Nuclear Association, 2023. *Nuclear Power in Sweden*. [online] Available at: <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/sweden.aspx>

[45] Μαριάνθη Πελεκανάκη, (12/1/2023), Επέκταση της πυρηνικής ενέργειας στη Σουηδία με τις ευλογίες της κυβέρνησης, <https://www.euractiv.gr/section/energia/news/epektasi-tis-pyrinikis-energeias-sti-soyidia-me-tis-eylogies-tis-kyvernisis/>

[46] *The French Nuclear Industry: history and perspectives*, Surfeo, 2021

[47] Romain Zissler, (23/08/2022), France's Nuclear Power current difficulties and new policies, <https://www.renewableei.org/en/activities/column/REupdate/20220823.php>

[48] Francois De Beaupuy, William Horobin, (14/11/2023), France Agrees Cap on EDF Nuclear Power Price to Shield Consumers, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-11-14/france-and-edf-agree-nuclear-power-price-of-around-75mwh>

[49] UK Parliament, (31/07/2023), Strategic plan needed to deliver nuclear power, <https://committees.parliament.uk/committee/135/science-innovation-and-technology-committee/news/196805/strategic-plan-needed-to-deliver-nuclear-power-and-close-the-power-gap/>

[50] World Nuclear Association, 2023. *China invests in new reactor capacity*. [online] Available at: <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power.aspx>

[51] Philip Andrews Speed, (January 2023), Nuclear Power in China: its role in national energy policy, <https://www.oxfordenergy.org/publications/nuclear-power-in-china-its-role-in-national-energy-policy/>

- [52] Γ.Α. Βλάχος, (06/12/2023), Κίνα: Σε λειτουργία ο πρώτος πυρηνικός σταθμός 4^{ης} γενιάς, *Η ΝΑΥΤΕΜΠΟΡΙΚΗ*, 488(31), 11-14 p.
- [53] ENERGYPRESS, (01/12/2023), Ε.Ε και Ιαπωνία εγαινίασαν τον νέο αντιδραστήρα πυρηνικής σύντηξης, <https://energypress.gr/news/ee-kai-iaponia-egkainiasan-neo-antidrastira-pyrinikis-syntixis>
- [54] Κορκίδης,(06/07/2017), Ινδία: Η δεύτερη χώρα στον κόσμο με πυρηνικό αντιδραστήρα ταχέων νετρονίων, *Η ΝΑΥΤΕΜΠΟΡΙΚΗ*, 394(26), 34-39 p.
- [55] Ram Mohan, Rajesh Babu, (2014), Nuclear Energy law and decision making in India, *teri*, 17(1), 115-131p.
- [56] World Nuclear News, (12/07/2023), South Korea considering new nuclear plans, <https://world-nuclear-news.org/Articles/South-Korea-set-to-back-new-nuclear-plants>
- [57] **International Atomic Energy Agency (IAEA), 2024.**
"Country Nuclear Power Profiles: Republic of Korea".
- [58] Συντακτική ομάδα ERTNEWS,(17/11/2023), ΗΠΑ- ΦΙΛΙΠΠΙΝΕΣ υπέγραψαν συμφωνία για την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας, <https://www.ertnews.gr/eidiseis/diethni/ipa-filippines-ypegrapsan-symfonia-gia-tin-paragogi-pyrinikis-energeias/>
- [59] World Nuclear News (10 Ιουλ 2024)
"Putin και Modi χαρακτήρισαν την εμβάθυνση της συνεργασίας στον τομέα της ειρηνικής πυρηνικής ενέργειας ως προτεραιότητα, με συζητήσεις για νέο εργοτάξιο VVER-1200 στην Ινδία"
- [60] Γ.Α. Βλάχος, Συμφωνία Ινδίας- Ιαπωνίας για παραγωγή πυρηνικής ενέργειας, *Η ΝΑΥΤΕΜΠΟΡΙΚΗ* , 210 (26), 15-16p (14/11/2016).
- [61] Η Τουρκία σε συνομιλίες με τις ΗΠΑ για την αγορά πυρηνικών αντιδραστήρων, (21/12/2022), <https://www.newmoney.gr/roh/bloomberg/i-tourkia-se-sinomilies-me-tis-ipa-gia-tin-agora-pirinikon-antidrastiron/>
- [62], *Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ*, Το Ιράν θέλει να αναπτύξει ειρηνική πυρηνική ενέργεια σε συνεργασία με τη Ρωσία, (21.03.2023)

[63] See Paul, K. Kerr, Mery Beth, July 2018, U.S. Japan Nuclear Cooperation, https://spfusa.org/wp-content/uploads/2018/03/123-Agreement-Yoshida-032618.Final_.pdf

[64] ΔΙΕΘΝΗ, Διακήρυξη συνεργασίας στην πυρηνική ενέργεια υπέγραψαν Γαλλία και Βουλγαρία, (22/02/2024), <https://www.capital.gr/diethni/3774546/diakiruxi-sunergasias-stin-puriniki-energeia-upegrapsan-gallia-kai-boulgaria/>

[65] Government of Canada, (28/05/2015), Nuclear Cooperation Agreement between Canada and India, <https://www.cnscccsn.gc.ca/eng/resources/news-room/feature-articles/nuclear-agreement-canada-india/>

[66] **World Nuclear News (2023).** *France and Sweden agree nuclear cooperation.*

<https://www.world-nuclear-news.org/Articles/France-and-Sweden-agree-nuclear-cooperation>

[67] **World Nuclear Association (2023).** *Nuclear Power in China.*

<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power.aspx>

[68] **Cirincione, J., Wolfsthal, J. & Rajkumar, M., 2005.** *Deadly Arsenals: Nuclear, Biological, and Chemical Threats.* 2η έκδοση. Washington D.C.: Carnegie Endowment for International Peace.

[69] Abraham Bargman, (1977), Nuclear Diplomacy, *Proceedings of the Academy of Political Science*, 32(4), 159-169p

[70] **World Nuclear Association, 2023.** *Nuclear Power and the World's Geopolitical Landscape.* London: WNA

