

Ο εμπλουτισμός ουρανίου με φυγοκέντρωση: Χημεία, το ιρανικό πρόγραμμα και οι γεωπολιτικές συνέπειες

Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

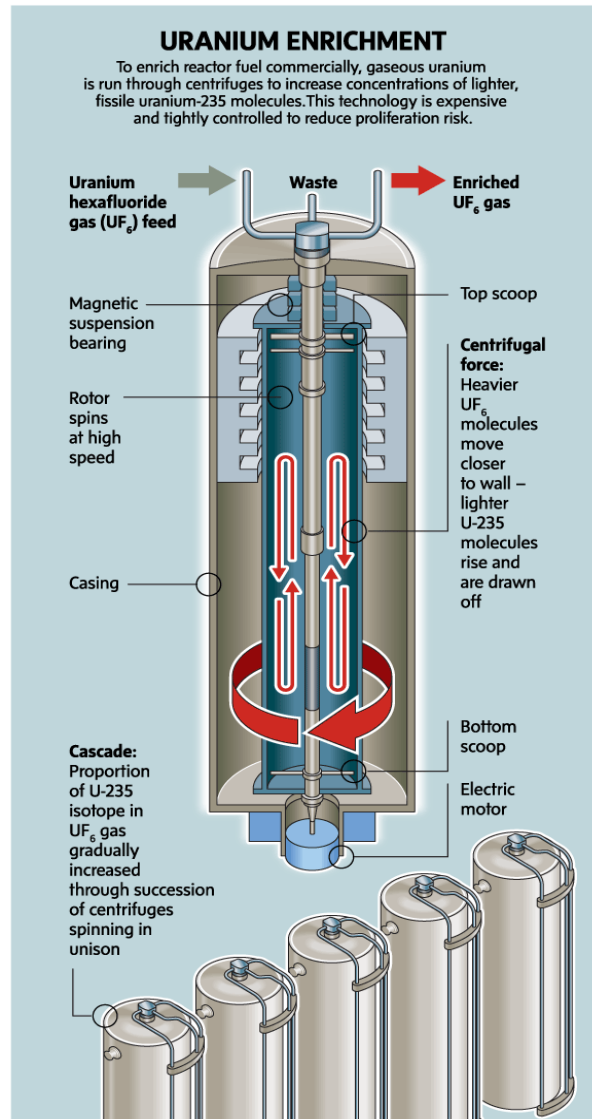
Ο εμπλουτισμός ουρανίου αποτελεί μια από τις πιο κρίσιμες χημικές και τεχνολογικές διαδικασίες της σύγχρονης εποχής, με εφαρμογές στην παραγωγή ενέργειας, αλλά και σημαντικές επιπτώσεις στην παγκόσμια ασφάλεια. Η δυνατότητα εμπλουτισμού ουρανίου σε υψηλά επίπεδα περιεκτικότητας του ισότοπου U-235 είναι απαραίτητη για την κατασκευή πυρηνικών όπλων, ενώ χαμηλότερα επίπεδα εμπλουτισμού χρησιμοποιούνται σε πυρηνικούς αντιδραστήρες.

Το φυσικό ουράνιο αποτελείται κυρίως από το ισότοπο ουρανίου-238 (περίπου 99,3%) και σε μικρό ποσοστό ουρανίου-235 (περίπου 0,7%). Το U-235 είναι το ραδιενεργό ισότοπο που μπορεί να υποστηρίξει αλυσιδωτές πυρηνικές αντιδράσεις, οι οποίες αποτελούν τη βάση για την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας και τη λειτουργία πυρηνικών όπλων.

Η διαδικασία εμπλουτισμού ουρανίου στοχεύει στην αύξηση της περιεκτικότητας του U-235 σε ένα δείγμα ουρανίου, ώστε να επιτευχθούν τα απαιτούμενα επίπεδα, ανάλογα με την εφαρμογή. Για πυρηνικούς αντιδραστήρες, το εμπλουτισμένο ουράνιο πρέπει να περιέχει περίπου 3-5% U-235, ενώ για όπλα απαιτείται εμπλουτισμός άνω του 90%.

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος εμπλουτισμού είναι η φυγοκέντρωση, που αξιοποιεί τη διαφορά μάζας μεταξύ των ισωτόπων. Οι φυγοκεντρητές περιστρέφονται με ταχύτητες που ξεπερνούν τις 60.000 στροφές το λεπτό, δημιουργώντας πολύ ισχυρή φυγόκεντρο δύναμη. Η διαφορά μάζας προκαλεί τον διαχωρισμό των ισωτόπων: το ελαφρύτερο U-235 συγκεντρώνεται κοντά στον άξονα, ενώ το βαρύτερο U-238 μετακινείται προς τα έξω. Με τη συνεχή διέλευση μέσα από σειρές φυγοκεντρητών, η περιεκτικότητα του U-235 αυξάνεται σταδιακά, παράγοντας εμπλουτισμένο ουράνιο κατάλληλο για περαιτέρω χρήση.

Η τεχνολογία αυτή είναι υψηλής τεχνικής πολυπλοκότητας και απαιτεί προηγμένες υποδομές και εξειδικευμένα υλικά, καθιστώντας την ανάπτυξή της πρόκληση για πολλές χώρες.



THE GLOBE AND MAIL, SOURCE: GRAPHIC NEWS

Το ιρανικό πρόγραμμα εμπλουτισμού ουρανίου: επιτεύγματα και ανησυχίες

Το Ιράν ξεκίνησε το πυρηνικό του πρόγραμμα τη δεκαετία του 1980 με επίσημο στόχο την παραγωγή ενέργειας και τη χρήση στην ιατρική. Στις αρχές του 21ου αιώνα, ωστόσο, άρχισε να αναπτύσσει τεχνολογία εμπλουτισμού ουρανίου, παρά τις διεθνείς αμφιβολίες και ανησυχίες.

Μέχρι σήμερα, το Ιράν έχει καταφέρει να εγκαταστήσει εκατοντάδες φυγοκεντρητές στις κύριες εγκαταστάσεις του στο Νάταζ και το Φορντό (IAEA, 2022), να έχει εμπλουτίσει ουράνιο σε επίπεδα που φτάνουν έως και το 60% U-235, πολύ κοντά στα επίπεδα που απαιτούνται για όπλα (Arms Control Association, 2023) και να παράγει σημαντικές ποσότητες εμπλουτισμένου ουρανίου, ικανές να υποστηρίξουν τόσο πολιτικές όσο και στρατιωτικές εφαρμογές.



Η πρόοδος αυτή έχει πυροδοτήσει ανησυχίες, καθώς η δυνατότητα γρήγορης μετάβασης από επίπεδα χαμηλού σε υψηλού εμπλουτισμού μπορεί να οδηγήσει σε κατασκευή πυρηνικών όπλων σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα.

Η διεθνής προσπάθεια ελέγχου αυτής της ανάπτυξης κορυφώθηκε με τη συμφωνία JCROA το 2015, όπου το Ιράν δεσμεύτηκε να περιορίσει τον εμπλουτισμό ουρανίου σε 3,67% και τις ποσότητες που κατέχει, ενώ παρείχε πρόσβαση σε επιθεωρητές του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας (IAEA) (IAEA, 2015).

Το 2018, οι ΗΠΑ αποχώρησαν μονομερώς από τη συμφωνία και επανέφεραν κυρώσεις κατά του Ιράν, οδηγώντας τη χώρα να αρχίσει να παραβιάζει τους όρους της συμφωνίας. Το Ιράν αύξησε την περιεκτικότητα και τις ποσότητες του εμπλουτισμένου ουρανίου, δημιουργώντας νέες εντάσεις και κινδύνους.

Παράλληλα, στο πλαίσιο αυτής της κρίσης, σημειώθηκαν σειρά στοχευμένων δολοφονιών κορυφαίων ιρανών πυρηνικών επιστημόνων, με πιο γνωστή την εξόντωση του Μοχσέν Φαχριζαντέχ, που θεωρείται ο «πατέρας» του πυρηνικού προγράμματος του Ιράν. Παρά τις απώλειες, το Ιράν έχει συνεχίσει το πρόγραμμα εμπλουτισμού, υπογραμμίζοντας την αποφασιστικότητά του. Η περίπτωση του Ιράν αναδεικνύει πόσο δύσκολο είναι να συνδυαστούν οι τεχνολογικές δυνατότητες με τις διεθνείς προσπάθειες διαφάνειας και ελέγχου. Η πιθανότητα το Ιράν να αποκτήσει πυρηνικά όπλα αυξάνει την αστάθεια στη Μέση Ανατολή και επηρεάζει την παγκόσμια ασφάλεια. Ταυτόχρονα, οι στοχευμένες επιθέσεις κατά επιστημόνων δημιουργούν μια ατμόσφαιρα έντασης που επιδεινώνει τις διεθνείς σχέσεις.

Η επιστημονική κοινότητα και οι διεθνείς οργανισμοί πρέπει να συνεχίσουν τις προσπάθειες για ειρηνική επίλυση, προώθηση της διαφάνειας και αυστηρούς μηχανισμούς ελέγχου, ώστε να αποφευχθεί η εξάπλωση των πυρηνικών όπλων σε μια ήδη εύθραυστη περιοχή.

Πηγές

- Albright, D., Brannan, P., & Kelleher-Vergantini, S. (2010). *Iran's Nuclear Program: Status and Future*. Institute for Science and International Security.
- Arms Control Association. (2023). *Iran's Nuclear Program at a Glance*. <https://www.armscontrol.org/factsheets/Irans-Nuclear-Program>
- BBC News. (2021). *Iran nuclear: What's the latest with the nuclear deal?* <https://www.bbc.com/news/world-middle-east-58013272>
- Glasstone, S., & Lovberg, R. H. (1977). *Weapons of Mass Destruction: Nuclear*. United States Department of Defense.
- IAEA. (2015). *Joint Comprehensive Plan of Action (JCPOA) text*. International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org/topics/iran-nuclear-deal>
- IAEA. (2022). *Safeguards Implementation Report for Iran*. <https://www.iaea.org/newscenter/focus/iran>
- Kaufman, R. D. (1985). *The Technology of Uranium Enrichment*. Scientific American, 252(2), 38-45.
- The Guardian. (2020). *Mohsen Fakhrizadeh: Iran nuclear scientist killed in ambush*. <https://www.theguardian.com/world/2020/nov/27/mohsen-fakhrizadeh-iran-nuclear-scientist-killed-in-ambush>
- World Nuclear Association. (2023). *Uranium Enrichment*. <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/uranium-enrichment.aspx>