

Χημικά

Χρονικά

ΤΕΥΧΟΣ ΜΑΪΟΥ - ΙΟΥΝΙΟΥ 2026

**Χημική ταυτότητα,
προέλευση
και χρήσεις φυσικών
και τεχνητών κηρών**

**Ανοσοχημικές μέθοδοι στη
διαγνωστική:**
Από τα ραδιοϊσότοπα στα
νανοϋλικά

Χημεία και ενεργός πολίτης:
μια ουσιαστική σχέση στη
σύγχρονη κοινωνία

**Συνέντευξη με την καθηγήτρια
Mary Garçon, τη νέα Πρόεδρο
της IUPAC**



Η Διοικούσα Επιτροπή της Ε.Ε.Χ. (2025-2027)

Πρόεδρος: Παπαδόπουλος Αθανάσιος

Α' Αντιπρόεδρος: Κορίλλης Αναστάσιος

Β' Αντιπρόεδρος: Κουλός Βασίλειος

Γενικός Γραμματέας: Σιταράς Ιωάννης

Ειδικός Γραμματέας: Βαφειάδης Ιωάννης - Αλέξανδρος

Ταμίας: Σωτηρίου Πέτρος

Μέλη: Στεφανίδου Άννα, Παπαγιαννοπούλου Ειρήνη,

Στάικος Χρήστος, Ψαρουδάκης Νικόλαος, Σιδέρη

Τριανταφυλλένια

Περιφερειακά τμήματα της Ε.Ε.Χ.

Αττικής και Κυκλάδων (Πρόεδρος: Κορωνιά Αικατερίνη), Κάνιγγος 27, Τ.Κ. 10682 Αθήνα, τηλ.: 210 3821524, 210 3829266, fax: 2103833597, e-mail: ptak@eex.gr

Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας (Πρόεδρος: Κουλός Βασίλειος), Αριστοτέλους 6, Τ.Κ. 54623 Θεσσαλονίκη, τηλ./fax: 2310 278077, e-mail: ptkdm@eex.gr

Πελοποννήσου και Δυτικής Ελλάδας (Πρόεδρος: Παναγόπουλος Βασίλειος), Μαιζώνος 211, Τ.Κ. 26222 Πάτρα, τηλ./fax: 2610 362460, e-mail: eexpat@eex.gr

Κρήτης (Πρόεδρος: Σκουληκάρη Εμμανουέλα), Επιμενίδου 19, Τ.Κ. 71110 Ηράκλειο Κρήτης, Τ.Θ. 1335, τηλ./fax: 2810 220292, e-mail: crete@eex.gr, eexkritis@yahoo.com

Θεσσαλίας (Πρόεδρος: Γούναρης Στέργιος), Σκενδεράνη 2, Τ.Κ. 38221 Βόλος, τηλ./fax: 24210 37421, e-mail: eexthes@eex.gr

Ηπείρου - Κερκύρας - Λευκάδας (Πρόεδρος: Χασιώτης Γεώργιος), Γραφείο Χ2 - 109, Ισόγειο, Τμήμα Χημείας-Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Πανεπιστημιούπολη Ιωαννίνων, 45110 Ιωάννινα, Τηλ.: 26510 08358, e-mail: epiroseex@gmail.com

Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας Λεβαδίτου 2, Τ.Κ. 35100 Λαμία, τηλ.: 22310 25388, e-mail: eex.astereas@gmail.com

Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης (Πρόεδρος: Κουτσιανόπουλος Φώτης), Τμήμα Χημείας ΔΙΠΑΕ, Άγιος Λουκάς, ΤΚ 654 04, Καβάλα, τηλ./fax: 25510 81002, e-mail: ptamth.eex@gmail.com

Νοτίου Αιγαίου Κλ. Πέππερ 1, Τ.Κ. 85100 Ρόδος, τηλ.: 22410 28638, 22410 37522, fax: 22410 35623, 22410 37522, e-mail: eex@rho.forthnet.gr

Βορείου Αιγαίου (Πρόεδρος: Τσεκούρα Ελένη), Ηλία Βενέζη 1, Τ.Κ. 81100 Μυτιλήνη, τηλ./fax: 22510 28183, e-mail: n.aegean@eex.gr

Ιδιοκτήτης: Ένωση Ελλήνων Χημικών

Εκδότης: Ο πρόεδρος της Ε.Ε.Χ. Παπαδόπουλος Αθανάσιος

Αρχισυντάκτης: Καραγιάννης Μιλτιάδης

Αναπληρωτής Αρχισυντάκτης: Κιτσινέλης Σπύρος

Μέλη Συντακτικής Επιτροπής: Κατσαφούρου Αγγελική,

Κούσκουρα Μαρία, Κυριακού Ηρακλής, Παναγιώτης

Πάντος, Τατάρογλου Αθανάσιος, Στέλλα Χατζημιχαλίδου,

Χατζημητάκος Θεόδωρος

Εκπρόσωπος της Δ.Ε. της Ε.Ε.Χ. στη Συντακτική Επιτροπή:

Σιταράς Ιωάννης

Βοηθός έκδοσης: Κιτσινέλης Σπύρος

Τιμή Τεύχους: 3 €

Συνδρομές: Τακτικά μέλη (ενεργά): 35€

Τακτικά μέλη (συνταξιούχοι): 35€

Άνεργοι, μεταπτυχιακοί φοιτητές

και στρατευμένοι: 15€

Βιομηχανίες – Οργανισμοί: 74€

Συνδρομή Εξωτερικού: \$120

Σχεδίαση - Παραγωγή Έκδοσης: Adjust Lane

Ελευθερίας 51Α, 14235 Ν. Ιωνία

τηλ.: +306945594308

e-mail: panlampro@yahoo.gr

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

3 Σημείωμα του Εκδότη

4 Επικαιρότητα

8 Άρθρα

28 Δράσεις ΕΕΧ/ Δελτία Τύπου

Η ΕΕΧ στο διεθνές προσκήνιο και η αναγκαιότητα της οικονομικής μας αυτοτέλειας

Αγαπητές και αγαπητοί συνάδελφοι,

Στη σύγχρονη εποχή, όπου οι επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις τρέχουν με ιλιγγιώδεις ρυθμούς, η επιστήμη της Χημείας δεν γνωρίζει γεωγραφικά σύνορα. Οι προκλήσεις, από την πράσινη μετάβαση και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής μέχρι την καινοτομία στα υλικά και την αγροδιατροφή, είναι παγκόσμιες. Υπό αυτό το πρίσμα, η Ένωση Ελλήνων Χημικών (ΕΕΧ) οφείλει να έχει –και πλέον εδραιώνει εμπράκτως– έναν ισχυρό και σαφή διεθνή προσανατολισμό.

Η παρουσία μας δεν περιορίζεται στα στενά εθνικά όρια. Η ενεργή συμμετοχή της ΕΕΧ στα ευρωπαϊκά και διεθνή κέντρα αποφάσεων, η στενή παρακολούθηση και συνδιαμόρφωση των δράσεων της European Chemical Society (EuChemS), καθώς και η ανοικτή γραμμή επικοινωνίας με φορείς όπως η American Chemical Society (ACS), αποτελούν στρατηγικές επιλογές. Μέσα από αυτά τα δίκτυα, όχι μόνο προβάλλουμε το έργο των Ελλήνων επιστημόνων, αλλά μεταφέρουμε πολύτιμη τεχνογνωσία και καλές πρακτικές πίσω στη χώρα μας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της εξωστρέφειας και της στήριξης της νέας γενιάς αποτελεί η εθνική μας αποστολή και η συμμετοχή μας, στην 58η Διεθνή Ολυμπιάδα Χημείας στην Τασκένδη. Η διεθνής παρουσία μας δεν είναι, λοιπόν, μια ακαδημαϊκή πολυτέλεια, αλλά βασική προϋπόθεση για τη συνεχή αναβάθμιση του επαγγέλματός μας.

Όστόσο, για να μπορεί η ΕΕΧ να κοιτάζει προς τα έξω με αυτοπεποίθηση και να παρεμβαίνει δυναμικά στα κέντρα λήψης αποφάσεων, απαιτείται να είναι απόλυτα ισχυρή στο εσωτερικό της. Και ο ακρογωνιαίος λίθος αυτής της ισχύος είναι η οικονομική της αυτοτέλεια.

Οι διαρκείς αγώνες μας για την προάσπιση των επαγγελματικών μας δικαιωμάτων, η νομική μας θωράκιση, η διοργάνωση συνεδρίων και επιμορφωτικών σεμιναρίων, αλλά και η ίδια η έκδοση των «Χημικών Χρονικών», απαιτούν πόρους. Μια Ένωση εξαρτώμενη από κρατικές επιχορηγήσεις ή εξωτερικούς παράγοντες είναι μια Ένωση ευάλωτη, χωρίς την απαραίτητη ευελιξία για άμεσες παρεμβάσεις όταν θίγονται τα συμφέροντα των μελών της.

Στο σημείο αυτό, οφείλουμε να θίξουμε ένα ζήτημα κεφαλαιώδους σημασίας, στο οποίο οφείλουμε να είμαστε όλοι ξεκάθαροι: την καταβολή της ετήσιας συνδρομής προς την ΕΕΧ.

Η συνδρομή δεν αποτελεί απλώς μια τυπική διαδικασία ή μια

προαιρετική εισφορά. Αποτελεί ρητή, νομική προϋπόθεση για τη νόμιμη άσκηση του επαγγέλματος του Χημικού στην Ελλάδα. Το θεσμικό πλαίσιο είναι σαφές ως προς την υποχρεωτικότητα της εγγραφής και της οικονομικής τακτοποίησης προκειμένου ένας επιστήμονας να διατηρεί το δικαίωμα άσκησης του επαγγέλματος. Όμως, είναι κρίσιμο να δούμε πέρα από τη στενή, νομικίστικη διάσταση του θέματος.

Η συνδρομή είναι, στην πραγματικότητα, το σημαντικότερο εργαλείο που έχει στα χέρια του κάθε Έλληνας Χημικός για να διασφαλίσει την ανεξαρτησία του φορέα που τον εκπροσωπεί. Είναι η ελάχιστη, αλλά και η πλέον απαραίτητη, συμβολή όλων μας στην κοινή προσπάθεια. Όταν παραμελούμε αυτή την υποχρέωση, ουσιαστικά αποδυναμώνουμε τη δική μας φωνή. Πώς μπορούμε να διεκδικούμε Συλλογικές Συμβάσεις Εργασίας, διασφάλιση επαγγελματικών δικαιωμάτων απέναντι σε άδικο Προεδρικά Διατάγματα και καλύτερες συνθήκες εργασίας, εάν ο ίδιος μας ο θεσμικός εκφραστής στερείται της βασικής του "ανάσας";

Καλώ, λοιπόν, κάθε συνάδελφο, είτε δραστηριοποιείται στον δημόσιο είτε στον ιδιωτικό τομέα, είτε στη βιομηχανία είτε στην εκπαίδευση, να αντιληφθεί τη συνδρομή του όχι ως βάρος, αλλά ως επένδυση. Επένδυση στην προστασία του πτυχίου μας, στην αναβάθμιση του κλάδου μας και στην παρουσία μιας ισχυρής ΕΕΧ, τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς.

Μόνο ενωμένοι, θεσμικά υπεύθυνοι και οικονομικά αυτοτελείς μπορούμε να χτίσουμε τη Χημεία του αύριο.

Αθανάσιος Παπαδόπουλος
Πρόεδρος ΕΕΧ

Δεκαπλάσια αγωγιμότητα νανοσωλήνων άνθρακα μέσω τετραχλωροαργιλικών ιόντων

Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

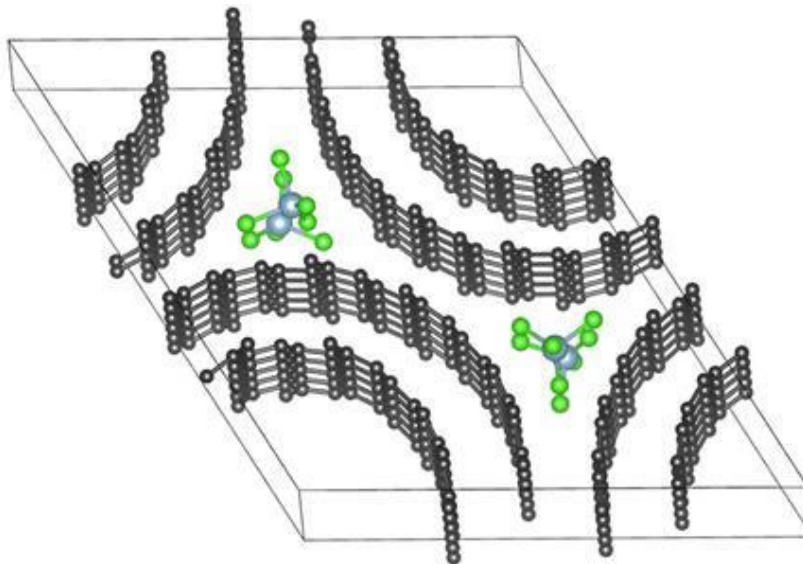
Οι νανοσωλήνες άνθρακα αποτελούν μία από τις πιο εντυπωσιακές αλληλοτροπικές μορφές του άνθρακα, συνδυάζοντας εξαιρετικές μηχανικές, θερμικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Η δομή τους βασίζεται σε κυλινδρικά πλέγματα ατόμων άνθρακα, ουσιαστικά «τυλιγμένα» φύλλα γραφενίου, στα οποία τα αποδεσμευμένα π-ηλεκτρόνια επιτρέπουν την αγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Παρά το θεωρητικό αυτό πλεονέκτημα, η πραγματική αγωγιμότητα των καθαρών (pristine) νανοσωλήνων παραμένει σημαντικά χαμηλότερη από τις προβλέψεις, κυρίως λόγω του περιορισμένου αριθμού ελεύθερων φορέων φορτίου. Έτσι, ενώ θεωρητικά θα μπορούσαν να φτάσουν τιμές 20–30 MS/m, πειραματικά κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 1–3 MS/m, πολύ χαμηλότερα από τον χαλκό (~60 MS/m).

Μια πρόσφατη μελέτη που δημοσιεύθηκε στο Science (2026) προσφέρει μια εντυπωσιακή λύση στο πρόβλημα αυτό μέσω χημικής δοπάρσις. Ερευνητική ομάδα στην Ισπανία έδειξε ότι η εισαγωγή τετραχλωροαργιλικών ιόντων μπορεί να αυξήσει την ηλεκτρική αγωγιμότητα των νανοσωλήνων έως και δέκα φορές, χωρίς να επηρεάζει αρνητικά τη δομή τους. Η μέθοδος βασίζεται στην έκθεση διπλοτοιχωματικών νανοσωλήνων σε περιβάλλον τριχλωριούχου αργιλίου και χλωρίου, όπου σχηματίζονται τα τετραχλωροαργιλικά ιόντα. Τα

ιόντα αυτά δεν διεισδύουν στον εσωτερικό αυλό των νανοσωλήνων, αλλά ενδοστρωματώνονται στα κανάλια μεταξύ των ομόκεντρων τοιχωμάτων τους. Η συγκεκριμένη διάταξη είναι καθοριστική και σε αντίθεση με το γραφένιο ή τον γραφίτη, όπου η εισαγωγή προσμίξεων μπορεί να οδηγήσει σε αποσταθεροποίηση των στρωμάτων, η ομόκεντρη γεωμετρία των νανοσωλήνων δημιουργεί επαρκή χώρο ώστε να φιλοξενηθούν τα ιόντα χωρίς σημαντική παραμόρφωση της δομής.

Σε ηλεκτρονικό επίπεδο, τα τετραχλωροαργιλικά ιόντα δρουν ως αποδέκτες ηλεκτρονίων, αυξάνοντας τον αριθμό των φορέων φορτίου και διευκολύνοντας την κίνησή τους κατά μήκος του νανοσωλήνα. Το αποτέλεσμα είναι μια δραματική βελτίωση της αγωγιμότητας, η οποία φτάνει περίπου τα 25 MS/m. Η τιμή αυτή, αν και υπολείπεται ακόμη του χαλκού, καθιστά τα υλικά αυτά εξαιρετικά ανταγωνιστικά, ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη ότι είναι σημαντικά ελαφρύτερα και μηχανικά ανθεκτικότερα. Ανά μονάδα μάζας, μάλιστα, η απόδοσή τους υπερβαίνει εκείνη των συμβατικών μεταλλικών αγωγών.

Η προοπτική χρήσης νανοσωλήνων άνθρακα σε καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα ελκυστική, καθώς θα μπορούσε να οδηγήσει σε ελαφρύτερες και



Πηγή: © A I de Isidro-Gómez et al/Science/AAAS

Τα τετραχλωροαργιλικά ιόντα βρίσκονται σε ενδιάμεσα κανάλια μεταξύ των νανοσωλήνων άνθρακα διπλού τοιχώματος

ισχυρότερες υποδομές. Παρ' όλα αυτά, η σταθερότητα των δοπαρισμένων συστημάτων αποτελεί ακόμη πρόκληση. Έχει παρατηρηθεί ότι σε υγρό περιβάλλον η αγωγιμότητα μειώνεται, αν και τα υλικά διατηρούν περίπου το 80% της απόδοσής τους για αρκετές ημέρες όταν προστατεύονται με κατάλληλη μόνωση. Η διατήρηση των δοπαριστικών ιόντων και η ανθεκτικότητα σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για τη μελλοντική αξιοποίηση.

Συνολικά, η εργασία αυτή αναδεικνύει τη σημασία της χημικής τροποποίησης ως εργαλείου ελέγχου των ιδιοτήτων των νανοϋλικών. Οι νανοσωληνικές άνθρακα δεν είναι πλέον απλώς ένα υλικό με εξαιρετικά χαρακτηριστικά, αλλά μια δυναμική πλατφόρμα που μπορεί να «προγραμματιστεί» σε μοριακό επίπεδο. Η δυνατότητα επίτευξης αγωγιμότητας που προσεγγίζει ή και ανταγωνίζεται τα μέταλλα ανοίγει νέους δρόμους για εφαρμογές στην ενέργεια, την ηλεκτρονική και τα προηγμένα σύνθετα υλικά.

Πηγές

De Isidro-Gómez, A. I. et al. (2026)

Highly conductive carbon nanotube fibres via intercalation doping

Science, DOI: 10.1126/science.aeb0673

Wogan, T. (2026)

Dopant boosts carbon nanotubes' conductivity tenfold

Chemistry World, Materials / Electronic materials / Nanoscience (Royal Society of Chemistry), <https://www.chemistryworld.com/news/dopant-boosts-carbon-nanotubes-conductivity-tenfold/4023359.article>

Lebedkin, S. et al. (2003)

Electronic properties of doped carbon nanotubes, Physical Review Letters. Volume 90, Issue 20, DOI: 10.1103/PhysRevLett.90.206802

De Volder, M. F. L. et al. (2013)

Carbon Nanotubes: Present and Future Commercial Applications

Science, DOI: 10.1126/science.1222453

Μια νέα μορφή αρωματικότητας – ο τριμελής δακτύλιος βισμούθιου ανατρέπει τα δεδομένα

Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

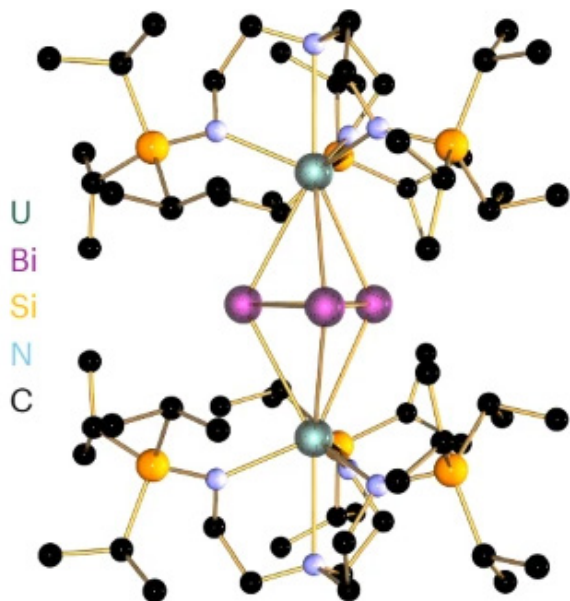
Η έννοια της αρωματικότητας αποτελεί θεμελιώδη αρχή της οργανικής χημείας και συνδέεται με ενώσεις που περιέχουν άνθρακα. Το κλασικό παράδειγμα είναι το βενζόλιο, όπου τα π-ηλεκτρόνια είναι απεντοπισμένα (delocalised) πάνω σε έναν επίπεδο εξαμελή δακτύλιο, προσδίδοντας εξαιρετική σταθερότητα στο μόριο. Για δεκαετίες, η παρουσία απεντοπισμένων π-ηλεκτρονίων θεωρούνταν απαραίτητη προϋπόθεση για την εμφάνιση αρωματικότητας. Ωστόσο, πρόσφατες εξελίξεις στη σύγχρονη χημεία αμφισβητούν αυτή την παραδοσιακή θεώρηση, διευρύνοντας σημαντικά τα όρια της έννοιας.

Το 2024, ερευνητές πέτυχαν τη σύνθεση ενός τετραμελούς δακτυλίου αποτελούμενου αποκλειστικά από άτομα βισμούθιου, ο οποίος παρουσίαζε αρωματικό χαρακτήρα, αποτελώντας το πρώτο πλήρως μεταλλικό σύστημα με τέτοιες ιδιότητες. Η ανακάλυψη αυτή άνοιξε τον δρόμο για την εξερεύνηση της αρωματικότητας πέρα από τις οργανικές ενώσεις, υποδεικνύ-

οντας ότι ο απεντοπισμός ηλεκτρονίων δεν αποτελεί αποκλειστικό χαρακτηριστικό των ανθρακούχων συστημάτων.

Η πιο πρόσφατη εξέλιξη σε αυτόν τον τομέα αφορά τη δημιουργία ενός τριμελούς δακτυλίου βισμούθιου, ο οποίος σταθεροποιείται μέσω πολύπλοκων δομών που περιλαμβάνουν βαρέα ακτινιδικά στοιχεία, όπως το ουράνιο και το θόριο. Οι ενώσεις αυτές εμφανίζουν μια ιδιαίτερη γεωμετρία, γνωστή ως «ανεστραμμένο σάντουιτς», όπου ο μεταλλικός δακτύλιος παρεμβάλλεται ανάμεσα σε δύο μεταλλικά κέντρα. Πρόκειται για τα βαρύτερα γνωστά ανάλογα τριμελών αρωματικών δακτυλίων που έχουν παρατηρηθεί μέχρι σήμερα.

Η ανάλυση των ιδιοτήτων αυτών των συστημάτων αποκάλυψε ότι ο δακτύλιος βισμούθιου παρουσιάζει ρεύμα δακτυλίου (ring current), ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα των αρωματικών ενώσεων. Το εύρημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς δείχνει ότι τα ηλεκτρόνια μπορούν να κυκλοφορούν



κυκλικά γύρω από τον δακτύλιο, προσδίδοντας σταθερότητα στο σύστημα. Ωστόσο, σε αντίθεση με το βενζόλιο και άλλες οργανικές ενώσεις, ο απεντοπισμός δεν προκύπτει από π-ηλεκτρόνια αλλά από την επικάλυψη σ-τροχιακών. Η παρατήρηση αυτή αμφισβητεί άμεσα την καθιερωμένη άποψη ότι η αρωματικότητα απαιτεί την ύπαρξη π-ηλεκτρονίων. Η έρευνα αυτή, υπό την καθοδήγηση του Steve Liddle στο University of Manchester, επισημαίνει ότι οι βασικές αρχές του χημικού δεσμού είναι πολύ πιο γενικές από ό,τι θε-

Πηγή

J Ding et al, Nat. Chem., 2026, DOI: 10.1038/s41557-026-02123-8

ωρούνταν μέχρι σήμερα. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει ο ίδιος, τα ευρήματα αυτά αποτελούν ισχυρή υπενθύμιση ότι οι θεμελιώδεις έννοιες της χημείας δεν περιορίζονται στον άνθρακα, αλλά εκτείνονται σε ολόκληρο τον περιοδικό πίνακα.

Οι προοπτικές που ανοίγονται είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Η δυνατότητα δημιουργίας πλήρως μεταλλικών αρωματικών συστημάτων ενδέχεται να οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων υλικών με μοναδικές ηλεκτρονικές και μαγνητικές ιδιότητες. Παράλληλα, η αναθεώρηση της έννοιας της αρωματικότητας ενισχύει τη σημασία της ανόργανης χημείας και συμβάλλει στη διαμόρφωση νέων θεωρητικών προσεγγίσεων για τους χημικούς δεσμούς.

Επιπλέον, η ανακάλυψη αυτή ενδέχεται να επηρεάσει και άλλους τομείς της χημείας και της επιστήμης υλικών, όπως η καταλυτική χημεία και η нанοτεχνολογία. Η κατανόηση της συμπεριφοράς βαρέων στοιχείων σε τέτοιες ασυνήθιστες δομές μπορεί να οδηγήσει στη σχεδίαση καινοτόμων καταλυτών ή προηγμένων λειτουργικών υλικών. Παράλληλα, εγείρονται νέα ερωτήματα σχετικά με το κατά πόσο παρόμοια φαινόμενα μπορούν να παρατηρηθούν και σε άλλα στοιχεία του περιοδικού πίνακα, ενισχύοντας περαιτέρω την ερευνητική δραστηριότητα στον τομέα.

Συνολικά, ο τριμελής δακτύλιος βισμούθιου δεν αποτελεί απλώς μια ακόμη εντυπωσιακή σύνθεση, αλλά ένα ουσιαστικό βήμα προς την κατανόηση της φύσης της αρωματικότητας. Η εξέλιξη αυτή υποδηλώνει ότι ακόμη και οι πιο καθιερωμένες έννοιες της χημείας μπορούν να επαναπροσδιοριστούν, καθώς η επιστημονική έρευνα συνεχίζει να αποκαλύπτει νέες πτυχές της μοριακής δομής και συμπεριφοράς.

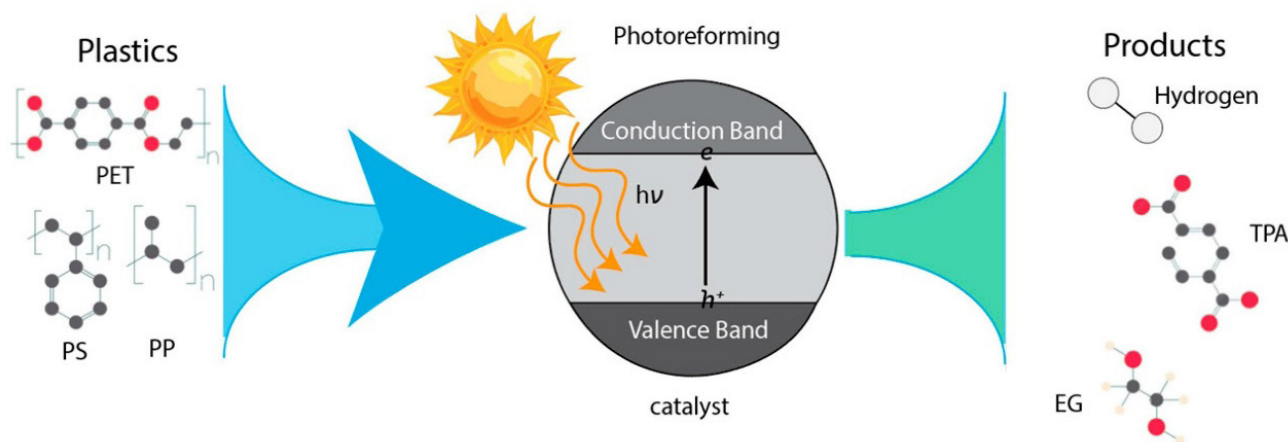
Ηλιακή αναμόρφωση πλαστικών – προς μια κυκλική χημεία με παραγωγή υδρογόνου

Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

Η αυξανόμενη συσσώρευση πλαστικών αποβλήτων αποτελεί μία από τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές προκλήσεις του 21ου αιώνα. Πολυμερή όπως το PET, το πολυουρεθάνιο και το νάιλον χαρακτηρίζονται από υψηλή χημική ανθεκτικότητα, γεγονός που καθιστά δύσκολη την αποδόμησή τους στο περιβάλλον. Ταυτόχρονα, η ανάγκη για καθαρές μορφές ενέργειας εντείνει το ενδιαφέρον για τεχνολογίες παραγωγής «πράσινου» υδρογόνου. Σε αυτό το πλαίσιο, η

ηλόγερνη ηλιακή αναμόρφωση (solar reforming) φαίνεται ως μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση που συνδυάζει την αξιοποίηση αποβλήτων με την παραγωγή χρήσιμων χημικών προϊόντων.

Η βασική αρχή της ηλιακής αναμόρφωσης στηρίζεται στη χρήση φωτοκαταλυτών, δηλαδή υλικών που απορροφούν ηλιακή ακτινοβολία και ενεργοποιούν χημικές αντιδράσεις. Υπό την επίδραση φωτός, οι φωτοκαταλύτες δημιουργούν



Ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν οξειδοαναγωγικές διεργασίες. Στην περίπτωση των πλαστικών, αυτό σημαίνει ότι οι μακρομοριακές αλυσίδες διασπώνται σε μικρότερα μόρια, ενώ ταυτόχρονα παράγεται υδρογόνο (H_2), ένα καύσιμο με μηδενικές εκπομπές άνθρακα κατά την καύση του.

Πρόσφατη έρευνα (2026) παρουσίασε έναν καινοτόμο φωτοκαταλύτη που φαίνεται να ξεπερνά ένα από τα βασικά εμπόδια της τεχνολογίας, δηλαδή τη δυσκολία επεξεργασίας διαφορετικών τύπων πολυμερών. Ο νέος καταλύτης μπορεί να μετατρέψει ποικιλία πλαστικών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων PET, πολυουρεθανών και νάιλον, σε υδρογόνο και χρήσιμα οργανικά μόρια, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά στοιχεία για τη χημική βιομηχανία. Η ευελιξία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς τα πραγματικά απορρίμματα αποτελούνται συνήθως από μίγματα διαφορετικών πολυμερών.

Ένα ακόμη καινοτόμο στοιχείο της μελέτης είναι η αξιοποίηση ενός δεύτερου ρεύματος αποβλήτων, δηλαδή του οξέος από παλιές μπαταρίες αυτοκινήτων. Το θειικό οξύ που περιέχεται σε αυτές χρησιμοποιείται ως μέσο αντίδρασης, ενισχύοντας τη διάσπαση των πολυμερών και βελτιώνοντας την απόδοση του φωτοκαταλύτη. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια «συνεργιστική ανακύκλωση», όπου δύο διαφορετικά είδη αποβλήτων μετατρέπονται ταυτόχρονα σε πολύτιμα προϊόντα. Η προσέγγιση αυτή εντάσσεται πλήρως στη φιλοσοφία της κυκλικής οικονομίας, όπου τα απόβλητα αντιμετωπίζονται ως πρώτες ύλες.

Πηγές

1. Gomollón-Bel, F. (2026). *Catalyst converts plastic waste into hydrogen and valuable chemical building blocks*. Chemical & Engineering News.
2. Reisner, E. et al. (2023). *Solar reforming of waste plastics into hydrogen using photocatalysis*. Nature Catalysis.

Σε μοριακό επίπεδο, η διαδικασία περιλαμβάνει την οξείδωση των οργανικών τμημάτων των πολυμερών και την αναγωγή πρωτονίων προς υδρογόνο. Τα ενδιάμεσα προϊόντα μπορεί να περιλαμβάνουν οργανικά οξέα ή άλλες ενώσεις μικρού μοριακού βάρους, οι οποίες έχουν βιομηχανική αξία. Η πρόκληση έγκειται στον έλεγχο της εκλεκτικότητας της αντίδρασης, ώστε να παράγονται συγκεκριμένα επιθυμητά προϊόντα αντί ενός πολύπλοκου μίγματος.

Παρά τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα, η τεχνολογία βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο. Ζητήματα όπως η κλίμακα παραγωγής, η ανθεκτικότητα των φωτοκαταλυτών και η ενεργειακή απόδοση πρέπει να επιλυθούν πριν από την ευρεία βιομηχανική εφαρμογή. Επιπλέον, απαιτείται αξιολόγηση του συνολικού περιβαλλοντικού αποτυπώματος της διαδικασίας, ώστε να διασφαλιστεί ότι τα οφέλη υπερτερούν των πιθανών επιπτώσεων.

Συνολικά, η ηλιακή αναμόρφωση πλαστικών αντιπροσωπεύει μια καινοτόμο σύγκλιση της φωτοχημείας, της κατάλυσης και της περιβαλλοντικής επιστήμης. Η δυνατότητα μετατροπής δύσκολων αποβλήτων σε καθαρή ενέργεια και χρήσιμες χημικές ουσίες υποδεικνύει έναν νέο δρόμο προς τη βιώσιμη ανάπτυξη. Εάν οι τεχνολογικές προκλήσεις ξεπεραστούν, τέτοιες μέθοδοι θα μπορούσαν να συμβάλουν καθοριστικά στη μείωση της πλαστικής ρύπανσης και στη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Χημική Ταυτότητα, Προέλευση και Χρήσεις Φυσικών και Τεχνητών Κηρών

Ιωάννα Γιαλαμά¹, Δήμητρα Γιαννικοπούλου¹, Κέβιν Μπέρτζαι¹, Χ. Χασάπης¹, Θ. Μαυρομούστακος¹

¹ Τμήμα Χημείας, ΕΚΠΑ

1. Εισαγωγή

Το κεριό (ή κηρός) αποτελεί ένα από τα πιο ευέλικτα και ιστορικά σημαντικά υλικά που έχει χρησιμοποιήσει ο άνθρωπος, γεφυρώνοντας το χάσμα ανάμεσα στην παράδοση και στην τεχνολογική αιχμή. Αν και στην κοινή συνείδηση είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τον φωτισμό και τη διακοσμητική κηροπλαστική, η πραγματική του φύση είναι πολύ πιο σύνθετη. Ως μίγμα οργανικών ενώσεων με μοναδικές θερμοπλαστικές και υδρόφοβες ιδιότητες, το κεριό, είτε πρόκειται για φυσικούς κηρούς, είτε για ορυκτές παραφίνες, αποτελεί κρίσιμη πρώτη ύλη σε μια εντυπωσιακή πληθώρα τομέων. Στην παρούσα ανάλυση θα εξεταστούν οι διαφορετικοί τύποι κηρών και οι εξειδικευμένες χρήσεις του, αναδεικνύοντας πως ένα υλικό που χρησιμοποιήθηκε από τους αρχαίους κιόλας πολιτισμούς, συνεχίζει να προσφέρει λύσεις σε σύγχρονα επιστημονικά προβλήματα, παραμένοντας παράλληλα στο επίκεντρο της συζήτησης για την βιωσιμότητα και την χρήση οικολογικών υλικών.

2. Χημικές Δομές κηρών (ή κεριών)

Οι κηροί αποτελούνται από μια ποικιλία ενώσεων και κατηγοριοποιούνται με βάση τις μηχανικές και φυσικές τους ιδιότητες. Η δομή των φυσικών κηρών ποικίλει, αλλά τα βασικά τους συστατικά αποτελούν εστέρες με μεγάλες ανθρακικές αλυσίδες, ελεύθερα λιπαρά οξέα, λιπαρές αλκοόλες και κορεσμένοι υδρογονάνθρακες, συνοδευόμενα από άλλα δευτερεύοντα συστατικά, όπως τερπένια, ρητίνες, αλδεΐδες, κετόνες και διακλαδισμένοι εστέρες [1].

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τις αναλογίες των παραπάνω ουσιών σε μερικά βασικά κεριά, δηλαδή κηρήθρα, κεριό ηλίανθου και κεριό ρυζιού.

Όπου: HCs= κορεσμένοι υδρογονάνθρακες

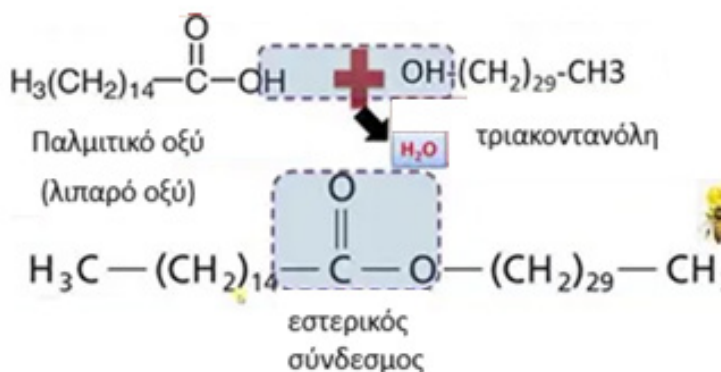
FAs= λιπαρά οξέα

FaOHs= λιπαρές αλκοόλες

WEs= εστέρες

Πίνακας 1: Ποσοστιαία αναλογία συστατικών κεριών

Ενώσεις	Κηρήθρα	Κεριό Ηλίανθου	Κεριό Ρυζιού
HCs [% (w/w)]	13-27	0-0,2	0-5,6
FAs [% (w/w)]	10-15	0-3,3	0-6
FaOHs [% (w/w)]	0-6,4	0-0,32	0-3,9
WEs [% (w/w)]	58-71	96-100	92-97
Δευτερεύοντα Συστατικά [% (w/w)]	6	<5	<5



Εικόνα 1: Σχηματισμός τριακοντυλοεξαδεκανοϊκού εστερά από παλμιτικό οξύ και τριακοντανόλη.

Ακολουθώς, παρουσιάζονται οι κυριότερες χημικές ενώσεις που απαντώνται στα φυσικά κεριά:

Το κεριό της μέλισσας, δηλαδή το δομικό υλικό της κηρύθρας, έχει ως κύριο συστατικό τον παλμιτικό ερικυλεστέρα (όνομα κατά IUPAC: Τριακοντυλοεξαδεκανοϊκός εστέρας) (Εικόνα 1). Λόγω της μεγάλης ανθρακικής αλυσίδας της ένωσης, το κεριό αυτό βρίσκεται σε στερεή μορφή σε θερμοκρασία δωματίου και είναι υδρόφοβο. Οι εστερικοί δεσμοί που σχηματίζει είναι υπεύθυνοι για την ομαλή, κηρώδη υφή του και το καθιστούν εύπλαστο.

Ακόμα, ενώσεις που απαντώνται ευρέως σε φυτικά κεριά είναι τα ελεύθερα λιπαρά οξέα. Μερικά παραδείγματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.

Τα λιπαρά οξέα προσδίδουν πλαστικότητα και ευκαμψία στα κεριά και επιδρούν στις φυσικές τους ιδιότητες. Τα κορεσμένα οξέα, όπως το στεατικό οξύ, αυξάνουν το σημείο τήξεως του μίγματος.

Παράδειγμα λιπαρών αλκοολών αποτελεί η Κητυλική αλκο-

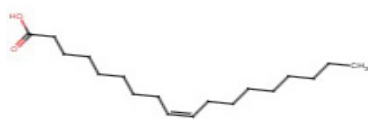
όλη (Εικόνα 3)

Οι αλκοόλες αυτές επηρεάζουν το σημείο τήξης των κεριών και το ιξώδες τους.

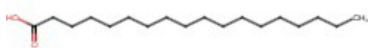
Σε αντίθεση με τους φυσικούς κηρούς, τα κεριά που προέρχονται από την επεξεργασία πετρελαίου, δηλαδή οι παραφίνες, παρουσιάζουν διαφορετική χημική σύσταση. Απαρτίζονται κυρίως από κορεσμένους υδρογονάνθρακες μακράς ανθρακικής αλυσίδας (μεταξύ 20 και 40 ατόμων άνθρακα). Μπορούν να περιέχουν και προσμίξεις από άλλες ουσίες, όπως αρωματικούς υδρογονάνθρακες (<2% [w/w]), κυκλοαλκάνια, υπολείμματα αλκοολών ή εστέρων και θειούχες ή οξειδωμένες ενώσεις (Εικόνα 4).

Οι παραφίνες, λοιπόν, είναι χημικά απλούστερες σε σύγκριση με τα φυσικά κεριά και οι ιδιότητές τους εμφανίζουν μικρότερη ποικιλομορφία [2].

Γενικά, τα κεριά είναι μίγματα ενώσεων με χαμηλά σημεία τήξεως. Οι φυσικές ιδιότητες των κηρών εξαρτώνται από την ποσοστιαία σύστασή τους στις προαναφερθείσες ενώσεις. Διαδραματίζει ρόλο ο συνολικός αριθμός των ανθράκων στις εκάστοτε ανθρακικές αλυσίδες, ο τύπος των εστέρων και οι διαφορετικές θέσεις των εστερικών δεσμών. Η χημική σύσταση των κηρών εξαρτάται, πέρα από την προέλευση του κεριού, από την μέθοδο εξαγωγής και καθαρισμού τους. Έτσι, αναλυτικές μέθοδοι είναι απαραίτητοι για τον καθορισμό της χημικής σύστασης και μετέπειτα τον προσδιορισμό της λειτουργικότητας και των φυσικών ιδιοτήτων του κεριού.



cis-οκταδεκενικό οξύ ή Ελαιικό οξύ



Στεατικό οξύ



Λινολεϊκό οξύ

Εικόνα 2: Ελεύθερα λιπαρά οξέα που βρίσκονται στο κεριό



Εικόνα 3: 1-εξαδεκανόλη ή Κητυλική αλκοόλη



Εικόνα 4: Εικοσάνιο

3. Προέλευση κηρών

Με βάση την πηγή προέλευσης και την παραγωγική τους οδό, τα κεριά ταξινομούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: τα Φυσικά (ζωικά και φυτικά), τα Ορυκτά (πετρελαιοκί) και τα Συνθετικά.

• Φυσικοί κηροί

Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στους ζωικούς κηρούς και στους φυτικούς κηρούς.

• Ζωικοί Κηροί

Οι φυσικοί κηροί αποτελούν προϊόντα του μεταβολισμού ζωικών οργανισμών, με το μελισσοκέρι να αποτελεί τον σημαντικότερο εκπρόσωπο της κατηγορίας των ζωικών κηρών. Πρόκειται για ένα βιοσποικοδομησιμο, βιώσιμο και φιλικό προς το περιβάλλον υλικό, το οποίο παρουσιάζει εξαιρετικά πολύπλοκη χημική σύσταση και ευρύ φάσμα εφαρμογών [3]. Η παραγωγή του μελισσοκερίου είναι μια εξειδικευμένη βιολογική λειτουργία που επιτελείται κυρίως από τη μέλισσα του είδους *Apis mellifera*. Το κέρι συντίθεται από νεαρές εργάτριες μέλισσες, ηλικίας 12 έως 18 ημερών. Παράγεται από τέσσερα ζεύγη κηρογόνων αδένων που βρίσκονται στην κοιλιακή χώρα του εντόμου. Οι μέλισσες χρησιμοποιούν σάκχαρα (γλυκόζη, φρουκτόζη και σακχαρόζη) από το μέλι ως βασικά δομικά στοιχεία για τη σύνθεση του κηριού. Το κέρι εκκρίνεται σε υγρή μορφή και, καθώς ψύχεται, στερεοποιείται σε λεπτές λευκές νιφάδες. Για την παραγωγή ενός κιλού κηριού απαιτούνται περίπου ένα εκατομμύριο τέτοιες νιφάδες.

• Φυτικοί Κηροί

Οι φυτικοί κηροί απαντώνται συνήθως ως προστατευτικές επιστρώσεις (επιδερμικά στρώματα) στα φύλλα, τους μίσχους και τους καρπούς των φυτών, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της διαπνοής (απώλειας υγρασίας). Επίσης, προστατεύει από την υπεριώδη (UV) ακτινοβολία και αποτρέπει την προσκόλληση παθογόνων μικροοργανισμών (π.χ. μυκήτων). Ενώ τα ζωικά κεριά είναι σχεδόν αποκλειστικά εστέρες, οι φυτικοί κηροί αποτελούνται από ένα εξαιρετικά πολύπλοκο μείγμα λιπιδίων. Σύγχρονες αναλύσεις δείχνουν ότι κυριαρχούνται από λιπαρά οξέα πολύ μακράς αλυσίδας με περισσότερα από 20 άτομα άνθρακα, πρωτοταγείς και δευτεροταγείς αλκοόλες, αλδεΐδες, κετόνες και n-αλκάνια μονού αριθμού ανθράκων. Το κέρι *Carnauba* είναι ο σημαντικότερος φυτικός κηρός στη βιομηχανία και εξάγεται από τα φύλλα του φοίνικα *Copernicia prunifera*, που φύεται στη Βραζιλία. Θεωρείται ο «βασιλιάς των κηρών» λόγω της εξαιρετικής του σκληρότητας και του πολύ υψηλού σημείου τήξης του. Αυτό που κάνει το *Carnauba* μοναδικό στη χημεία, είναι η υψηλή περιεκτικότητά του σε διεστέρες του κινναμωμικού οξέος και σε ω-υδροξυ-εστέρες. Αυτές οι ενώσεις δημιουργούν ένα εξαιρετικά πυκνό, ημι-κρυσταλλικό πλέγμα που του προσδίδει τεράστια μηχανική αντοχή και σημείο τήξης που αγγίζει τους 82- 86 °C, το οποίο είναι υψηλότερο από όλα τα φυσικά κεριά.

• Πετρελαιοκί κηροί

Οι πετρελαιοκί κηροί παράγονται ως υποπροϊόντα κατά τη διύλιση του αργού πετρελαίου και αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας αγοράς κηρών. Η εξαγωγή του κηρού από το αργό πετρέλαιο είναι μια σύνθετη πολυσταδιακή διεργασία [4]. Αρχικά, το αργό πετρέλαιο θερμαίνεται και διαχωρίζεται σε κλάσματα ανάλογα με το σημείο βρασμού τους. Οι κηροί εντοπίζονται στα κλάσματα των βαρέων λιπαντικών ελαίων. Έπειτα, τα κλάσματα αυτά αναμιγνύονται με διαλύτες (όπως προπάνιο ή μείγμα μεθυλο-αιθυλοκετόνης και τολουολίου) και στη συνέχεια ψύχονται. Καθώς η θερμοκρασία ελαττώνεται, ο κηρός κρυσταλλώνεται και διαχωρίζεται από το μείγμα λαδιού-διαλύτη μέσω διήθησης ή φυγοκέντρησης. Ο ακατέργαστος κηρός υφίσταται περαιτέρω καθαρισμό για την απομάκρυνση προσμίξεων θείου, αζώτου και οξυγόνου, βελτιώνοντας το χρώμα, την οσμή και τη χημική του σταθερότητα. Ανάλογα με τον βαθμό καθαρισμού και τη μικροδομή τους, οι πετρελαιοκί κηροί διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- I. Παραφίνη:** Είναι ο πιο κοινός τύπος, με σημείο τήξης μεταξύ 47°C και 64°C. Διακρίνεται σε πλήρως ραφιναρισμένη (περιεκτικότητα σε έλαιο <0,5%), που είναι ιδανική για τρόφιμα και καλλυντικά, και ημι-ραφιναρισμένη (1-3% έλαιο) για βιομηχανικές χρήσεις.
- II. Μικροκρυσταλλικός Κηρός:** Διαθέτει πολύ πιο λεπτή κρυσταλλική δομή, υψηλότερο σημείο τήξης (60-90°C) και μεγαλύτερη ευκαμψία σε σχέση με την παραφίνη. Η υψηλή του γλοιότητα τον καθιστά εξαιρετικό συνδετικό μέσο.
- III. Ακατέργαστος Κηρός:** Αποτελεί μια πιο ακατέργαστη μορφή με υψηλή περιεκτικότητα σε έλαιο (από 4% έως 30%), η οποία χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ραφιναρισμένων κηρών ή ως βιομηχανικό λιπαντικό.

Η συμπεριφορά των πετρελαιοκί κηρών καθορίζεται από παραμέτρους όπως το σημείο τήξεως, τη σκληρότητα, την περιεκτικότητα σε έλαιο και τη μηχανική τους αντοχή [2].

• Συνθετικοί κηροί

Οι συνθετικοί κηροί αντιπροσωπεύουν μια σημαντική πρόοδο στην τεχνολογία των κηρών, προσφέροντας μια εξελιγμένη και εξειδικευμένη εναλλακτική λύση έναντι των παραδοσιακών κηρών πετρελαιοκί προέλευσης [5]. Η παραγωγή τους δεν βασίζεται στην απλή εκχύλιση από φυσικές πηγές, αλλά σε ελεγχόμενες χημικές αντιδράσεις που επιτρέπουν τη δημιουργία υλικών με συγκεκριμένες προδιαγραφές απόδοσης. Η παραγωγή των συνθετικών κηρών πραγματοποιείται κυρίως μέσω διεργασιών πολυμερισμού, συνθεστέρα με τη χρήση αιθυλενίου. Γίνεται κυρίως μέσω ελεγχόμενης σύνθεσης η οποία μας επιτρέπει να καθορίσουμε με ακρίβεια το μοριακό βάρος και τον βαθμό διακλάδωσης των αλυσίδων. Το αποτέλεσμα είναι ένα προϊόν με πολύ μεγαλύτερη χημική ομοιομορφία και σταθερότητα σε σύγκριση με τους φυσικούς ή ορυκτούς κηρούς.

Οι συνθετικοί κηροί υπερέχουν σε κρίσιμους τομείς λόγω της καθαρότητάς τους και της δυνατότητας παραμετροποίησης. Μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να παρουσιάζουν σημεία τήξης που κυμαίνονται από 65°C έως και θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 100°C. Παρουσιάζουν εντυπωσιακή αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες, διατηρώντας τη δομική τους ακεραιότητα εκεί όπου οι κοινές παραφίνες θα μαλάκωναν ή θα παραμορφώνονταν.

4. Χρήσεις Κηρών

Η χρησιμότητα του κεριού έγινε αντιληπτή από τον άνθρωπο χιλιάδες χρόνια πριν. Από την προϊστορική εποχή ακόμα οι άνθρωποι εκμεταλλεύτηκαν τις ιδιότητες του φυτικού κεριού στη παραγωγή φωτός, τη ζωγραφική και την ταρίχευση. Μαζί με την ανθρωπότητα εξελίχθηκαν και οι χρήσεις του κεριού βρίσκοντας πλέον εφαρμογές στη κοσμητολογία, στη φαρμακευτική, στα τρόφιμα και σε πολλούς άλλους τομείς της καθημερινότητας.

• Θρησκεία

Το κεριό από τα αρχαία χρόνια είναι άρρηκτα συνυφασμένο με τη θρησκεία. Η χρήση του ξεκίνησε από την ανάγκη για φωτισμό στις κατακόμβες και εξελίχθηκε σε έναν ισχυρότατο πνευματικό συμβολισμό. Σύμφωνα με την εκκλησιαστική παράδοση το κεριό συμβολίζει έξι έννοιες: την καθαρότητα της ψυχής, την πλαστικότητα, τη Θεία Χάρη, τη θέωση, το φως του Χριστού και την αγάπη και την ειρήνη. Πέρα από την χρήση του κεριού από τους πιστούς στις θείες λειτουργίες, το κεριό αποτελεί δομικό στοιχείο των μυστηρίων. Στο βάπτισμα, στον γάμο ακόμα και στην εξόδιο ακολουθία οι λαμπάδες και τα κεριά συμβολίζουν τον φωτι-

σμού του ανθρώπου για τον οποίο τελείται το κάθε μυστήριο. Η κορύφωση της χρήσης του κεριού γίνεται την Ανάσταση, όπου το Άγιο Φως μεταφέρεται από πιστό σε πιστό και ενώνει όλους τους ανθρώπους εν ουρανών και επί γης [6] (Εικόνα 5).

• Συντήρηση και Προστασία

Άλλη μία από τις παλαιότερες χρήσεις του κεριού αποτελεί η συντήρηση και η προστασία αντικειμένων. Η βασική του λειτουργία είναι η δημιουργία ενός αδιαπέραστου φραγμού που απομονώνει την επιφάνεια του αντικειμένου από τα συστατικά και τους ρύπους του περιβάλλοντος, που προκαλούν διάβρωση και φθορά. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε διάφορα υλικά. Για παράδειγμα χρησιμοποιείται για την επικάλυψη χάλκινων, ορειχάλκινων και σιδερένιων γλυπτών και νομισμάτων για την αποφυγή οξειδωσής του μετάλλου [7]. Επίσης, μέσω και αυτής προστατεύονται τα ξύλινα αντικείμενα αφού το κεριό διεισδύει στις ίνες του ξύλου προσφέροντας ελαστικότητα και προστατεύοντάς το από την ξήρανση και το σκάσιμο, και ταυτόχρονα του επιτρέπει να «αναπνέει» σε αντίθεση με τα βερνίκια. Τέλος, το κεριό χρησιμοποιείται για την αδιαβροχοποίηση υφασμάτων και δερμάτινων επιφανειών, καταλαμβάνοντας τους πόρους του υλικού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εμποδίζει το νερό να εισχωρήσει, ενώ παράλληλα διατηρεί τις επιφάνειες μαλακές [8].

• Κοσμητολογία

Στον κόσμο των καλλυντικών το κεριό αποτελεί δομικό υλικό που καθορίζει την υφή, τη σταθερότητα και την αποτελεσματικότητα των προϊόντων. Κύρια εφαρμογή στην κατα-



Εικόνα 5: Χρήση κεριών στην εκκλησία. Οι πιστοί ανάβουν τα κεριά ευχόμενοι υπέρ των τεθνεώτων και ζώντων.

σκευή προϊόντων ομορφιάς βρίσκουν το μελισσοκέρι και το κερί Candelilla (Εικόνα 6), τα οποία δίνουν στα lip balms, τα κραγιόν και τις μάσκαρα την απαραίτητη στερεή μορφή τους, επιτρέποντάς τους να απλώνονται ομοιόμορφα χωρίς να τήκονται σε θερμοκρασίες δωματίου [9]. Επιπλέον, το κερί λειτουργεί ως φράγμα πάνω στην επιδερμίδα, εγκλωβίζοντας την υγρασία στο εσωτερικό του δέρματος, ενώ ταυτόχρονα προστατεύει το δέρμα από εξωτερικούς ρύπους χωρίς να φράζει τους πόρους. Γνωστή είναι η δυσκολία ανάμειξης του νερού με τα έλαια και τη λύση δίνει το κερί βοηθώντας σε αυτή τη διαδικασία και προσφέροντας τελικά πλούσια και απαλή αίσθηση στα καλλυντικά. Φυσικά, το κερί και κυρίως το κερί Carnauba χρησιμοποιείται για να δίνει την επιθυμητή λάμψη στα προϊόντα [10]. Τέλος, το κερί είναι γνωστό και για την χρήση του ως αποτριχωτικό, λόγω της προσκολλητικής του ικανότητας και του χαμηλού σημείου τήξεως του.

• Φαρμακευτική

Στη βιομηχανία των φαρμάκων το κερί βρίσκει ευρεία εφαρμογή. Η πιο απλή του χρήση είναι για την επίτευξη της γυαλιστερής επιφάνειας του χαπιού, ώστε αυτό να καθίσταται πιο εύκολο στην κατάποση και ταυτόχρονα να προστατεύεται από την υγρασία του περιβάλλοντος [11]. Κρίσιμο, όμως, ρόλο παίζει ως έκδοχο για να διασφαλίσει ότι το φάρμακο θα φτάσει στο επιθυμητό σημείο του σώματος και θα αποδεσμευτεί με τον σωστό ρυθμό. Αυτό συμβαίνει διότι το κερί δεν διαλύεται εύκολα στο νερό οπότε βοηθάει στην αργή αποδέσμευση της φαρμακευτικής ουσίας, διατηρώντας σταθερά τα επίπεδα της στο αίμα για ώρες. Πιο εξειδικευμένη χρήση βρίσκει στα στερεά νανοσωματίδια λιπιδίων (SNLs) από κερί, τα οποία εξετάζονται στην προηγμένη φαρμακολογία για τη μεταφορά των αδιάλυτων στο νερό φαρμάκων και την απορρόφησή τους από τον οργανισμό [12]. Επίσης το κερί βρίσκει εφαρμογή και στην οδοντιατρική, όπου χρησιμοποιείται για τη λήψη αποτυπωμάτων και την προστασία των ούλων (Εικόνα7).



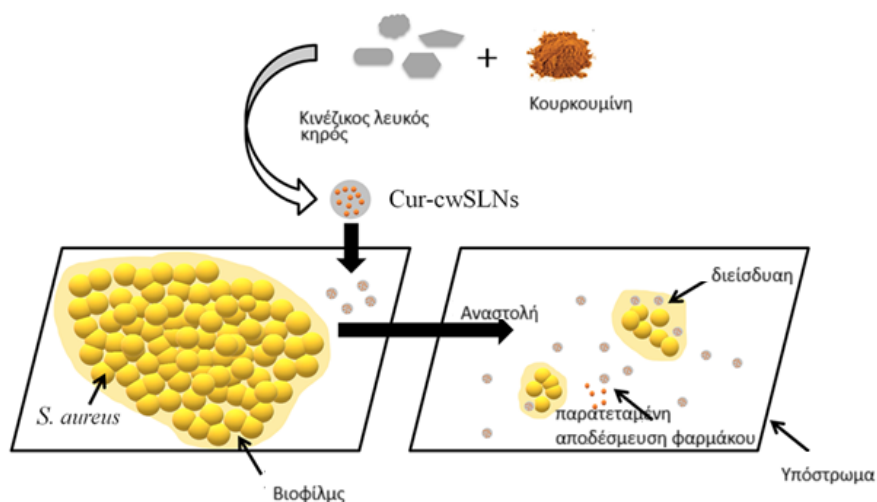
Εικόνα 6: Κερί Candelilla

• Τρόφιμα

Το κερί χρησιμοποιείται στη βιομηχανία των τροφίμων κυρίως ως μέσο συντήρησης και βελτίωσης της εμφάνισης προϊόντων. Αξίζει να τονιστεί πως οι χρήσεις του ρυθμίζονται αυστηρά από τους οργανισμούς ασφάλειας τροφίμων, όπως ο EFSA στην Ευρώπη και ο FDA στις ΗΠΑ [13]. Πιο συγκεκριμένα η πιο γνωστή του χρήση είναι στην επικάλυψη φρούτων και λαχανικών, που εμποδίζει την απώλεια υγρασίας, προστατεύει από χτυπήματα και προσδίδει μια ελκυστική γυαλάδα. Στη συνέχεια, το κερί παραφίνης χρησιμοποιείται στη προστασία τυριών, καθώς λειτουργεί ως αεροστεγές φράγμα που εμποδίζει την ανάπτυξη μούχλας και την ξήρανση του τυριού κατά την ωρίμανση. Τέλος, η γυαλιστερή υφή στα ζαχαρώδη και τις τσίχλες οφείλεται στο μελισσοκέρι και στο κερί Carnauba [14].

• Τεχνολογικές Εφαρμογές

Στη σύγχρονη εποχή το κερί πέρα από όλες τις εφαρμογές που αναφέρθηκαν παραπάνω χρησιμοποιείται και σε εξελιγμένες τεχνολογικές εφαρμογές, από τις οποίες αντιμετωπίζεται ως έξυπνο υλικό μεταβολής φάσης. Οι νέες αυτές εφαρμογές οφεί-



Εικόνα 7: Νανοσωματίδια από κινέζικο λευκό κερί (ewSLNs) στα οποία εγκλωβίσθηκε το αντικαρκινικό μόριο της κουρκουμίνης (Cur). Αναστολή και παρατεταμένη αποδέσμευση της κουρκουμίνης από τα βιοφίλμς.

πονται κυρίως στην ικανότητά του να απορροφά και να ελκίζει μεγάλες ποσότητες ενέργειας κατά τη μετάβαση από τη στερεή στην υγρή κατάσταση [15]. Μία από τις εφαρμογές είναι η θερμική διαχείριση ηλεκτρονικών. Εδώ ειδικά στρώματα παραφίνης τοποθετούνται σε συσκευές με υψηλή πυκνότητα ισχύος, όπως επεξεργαστές και μπαταρίες κινητών, με σκοπό την απορρόφηση της πλεονάζουσας θερμότητας για αποφυγή υπερθέρμανσης της συσκευής [16]. Επιπλέον, το κερί βοηθάει στην αποθήκευση ενέργειας των κτιρίων. Ορισμένα οικοδομικά υλικά περιέχουν ποσότητες κεριού με αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια της ημέρας το κερί να απορροφά τη θερμότητα του ηλίου και να τήκεται, διατηρώντας το κτίριο δροσερό και τη νύχτα να στερεοποιείται, εκλύοντας ενέργεια, ώστε να θερμανθεί ο χώρος [15]. Ίσως μία από τις πιο εντυπωσιακές εφαρμογές του κεριού παρατηρείται

στην αεροδιαστημική. Η NASA και άλλες ιδιωτικές εταιρίες χρησιμοποιούν το κερί παραφίνης ως στερεό καύσιμο σε υβριδικούς πυραύλους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το κερί παρουσιάζει υψηλότερο ρυθμό καύσης από τα συνθισμένα πολυμερή καύσιμα και είναι πιο ασφαλές και οικολογικό [17]. Επίσης, το κερί χρησιμοποιείται στην τεχνολογία MultiJet Printing που ασχολείται με την τρισδιάστατη εκτύπωση. Εδώ μπορεί να παρουσιάζει δύο εφαρμογές, είτε ως κύριο υλικό για τη δημιουργία καθυποπιών ακριβείας, είτε ως υλικό υποστήριξης που λιώνει και απομακρύνεται μετά το πέρας της εκτύπωσης, αφήνοντας το τελικό αντικείμενο καθαρό. Τέλος, το κερί αποτελεί τμήμα και της διαγνωστικής ιατρικής, αφού από αυτό δημιουργούνται βαθβίδες που εμποδίζουν την ροή του δείγματος μέχρι να θερμανθούν τοπικά οπότε τήκονται και επιτρέπεται η χημική αντίδραση [18].

5. Βιβλιογραφία

1. «Brykczynski H., Susane J., Floter E. (2026), A novel, single step LC-ELSD method to characterize the aliphatic fraction of natural waxes, 510, 148570».
2. Aleksandrova, E. A., Aleksandrov, B. L., Khadisova, Z. T., & Krasavtsev, B. E. (2018). Structural and mechanical properties of paraffin wax composites. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 54(1), 37-43. <https://doi.org/10.1007/s10553-018-0895-x>
3. «Gupta, G., & Anjali, K. (2023). Environmentally friendly beeswax: Properties, composition, adulteration, and its therapeutic benefits. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1110(1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1110/1/012041>».
4. «Hywax GmbH. Petroleum Wax: Uses, Types & Extraction Explained. <https://www.hywax.com/blog/petroleum-waxes> ».
5. Hywax GmbH. Synthetic Paraffin Wax: Benefits, Uses & Alternatives. <https://www.hywax.com/blog/synthetic-paraffin-wax>
6. Συμεών Θεσσαλονίκης, «Περί του Ιερού Ναού και της καθιέρωσης αυτού: Οπνευματικός συμβολισμός του κηρού», 1992 (ανατύπωση), Εκδόσεις Ρηγόπουλου / Πατρολογία, 12, 85-98.
7. «Scott, D. A., «Bronze Disease and the Use of Microcrystalline Waxes in Sculpture Conservation», 1996, Getty Conservation Institute Publications, 22, 112-124».
8. «Bruni, S., and Cariati, F., «Encaustic Painting: Chemical characterization of ancient waxes», *The Metropolitan Museum of Art Bulletin / Art Analysis*, 2002, 59, 142-155.».
9. «Milanovic, M., and Krstic, M., «Formulation and Characterization of Lipsticks based on Natural Waxes», 2015, *Journal of Cosmetic Science*, 66, 185-198.».
10. «Eberhardt, R., «Natural Waxes in Cosmetics: Properties and Applications of Carnauba and Candelilla Wax», 2012, *International Journal of Cosmetic Science*».
11. «Lopes, M. S., and Santos, T. R., «Carnauba wax as a tablet coating agent: Polishing and moisture barrier properties», 2011, *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 21, 415-422.».
12. «Müller, R. H., Mäder, K., and Gohla, S., «Solid lipid nanoparticles (SLN) for controlled drug delivery - a review of the state of the art», 2000, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 50, 161-177.».
13. «Pavlath, A. E., and Orts, W., «Edible Films and Coatings: Why, What, and How?», 2009, *Food Science and Technology International*, 15, 223-231.».
14. «Morillon, V., Debeaufort, F., Blond, G., Capelle, M., and Voilley, A., «Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: A review», 2002, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42, 67-89.».
15. «Sarvari, H. S., and Al-Lawati, A., «Optimization of Paraffin Wax in Solar Thermal Energy Storage Systems», 2014, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 70, 445-458.».
16. «Fan, L., and Khodadadi, J. M., «Thermal conductivity enhancement of phase change materials for thermal energy storage: A review», 2011, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 24-46.».
17. «Karabeyoglu, A., Zilli, G., Brian, C., and Richard, P., «Paraffin-based hybrid rocket fuels: Performance and combustion analysis», 2003, *NASA Technical Reports Ames Research Center*, 15, 12-28.».
18. «He, P., Wu, J., Zhang, J., and Lee, S., «Wax-based microfluidic gates for programmable liquid handling», 2011, *Lab on a Chip / Royal Society of Chemistry*, 11, 142-150.».

Ανοσοχημικές Μέθοδοι στη Διαγνωστική: Από τα Ραδιοϊσότοπα στα Νανοϋλικά

Παναγιώτης Κοτσίκης. Χημικός M.Sc

Περίληψη

Οι ανοσοχημικοί προσδιορισμοί αποτελούν βασικό εργαλείο της σύγχρονης εργαστηριακής διαγνωστικής αξιοποιώντας την υψηλή ειδικότητα της σύνδεσης αντιγόνου-αντισώματος. Στην ανασκόπηση αυτή γίνεται παρουσίαση της εξέλιξη των ανοσοχημικών μεθόδων, από τον ραδιοανοσοπροσδιορισμό (RIA) ως τις σύγχρονες τεχνικές υψηλής ευαισθησίας, όπως οι ανοσοενζυμικές, οι ανοσοδοκιμασίες χημειοφωταγείας και φθορισμού. Παράλληλα αναλύονται οι αρχές μεθόδων των τεχνικών, τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί τους, καθώς και οι κύριες κλινικές εφαρμογές τους. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις και στον τρόπο που συνέβαλε η νανοτεχνολογία στη βελτίωση της ευαισθησίας και της ειδικότητάς τους. Οι συνεχείς εξελίξεις της τεχνολογίας αναμένεται να ενισχύσει περαιτέρω την διαγνωστική ακρίβεια και το ρόλο των ανοσοχημικών μεθόδων στην παρακολούθηση παθολογικών καταστάσεων.

Λέξεις-κλειδιά : Ανοσοχημικοί προσδιορισμοί, ELISA, CLIA, LFIA, FIA, RIA, Ανοσοδοκιμασίες, Ένζυμα, Νανοτεχνολογία.

Εισαγωγή

Οι ανοσοχημικοί προσδιορισμοί είναι βιοαναλυτικές μέθοδοι που στηρίζονται στην υψηλή ειδικότητα της σύνδεσης των αντισωμάτων με ένα συγκεκριμένο αντιγόνο (1). Αποτελούν ευρέως χρησιμοποιούμενες αναλυτικές δοκιμασίες για τον ποιοτικό ή ποσοτικό κλινικό προσδιορισμό (2) σημαντικών μορίων, καλύπτοντας ένα ευρύ πεδίο κλινικών εφαρμογών, όπως η τοξικολογία, η ενδοκρινολογία, η καρδιολογία και τα λοιμώδη νοσήματα (2)(3). Οι ανοσοχημικοί προσδιορισμοί επωφελήθηκαν από την έλευση της τεχνολογίας των μονοκλωνικών αντισωμάτων από τους Georges Köhler και César Milstein (4), που επέτρεψε την παραγωγή ειδικών αντισωμάτων έναντι συγκεκριμένου αναλύτη ποικίλου μεγέθους, από μικρά μόρια έως πιο σύνθετες δομές, όπως οι ιοί (5).

Ανοσοδοκιμασίες πλευρικής ροής (LFIA)

Οι ανοσοδοκιμασίες έγιναν γνωστές στο ευρύ κοινό κατά τη διάρκεια της πανδημίας, καθώς χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση του SARS-CoV-2 τα Point Of Care (POC) tests. Πρόκειται για ανοσοχημικούς προσδιορισμούς πλευρικής ροής (lateral flow immunoassays) (6) που βασίζονται στην αρχή της ανοσοχρωματογραφίας (7). Ήταν ένας άμεσος τρόπος για τη διάγνωση της COVID-19 καθώς επέτρεπαν

τη διάγνωση των ασθενών χωρίς την αποστολή δειγμάτων σε κεντρικά εργαστήρια (8) απελευθερώνοντας τα σε μια κρίσιμη περίοδο για τη δημόσια υγεία. Τα τεστ παρουσίαζαν καλή κλινική ευαισθησία, αλλά χαμηλότερη σε σύγκριση με τη μέθοδο RT-PCR (Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction) (7). Στις δοκιμασίες πλευρικής ροής, τα αντισώματα ανίχνευσης είναι συζευγμένα με νανοσωματίδια χρυσού και αλληλοεπιδρούν με το δείγμα που μετακινείται κατά μήκος μιας μεμβράνης. Το χρωματικό σήμα που δηλώνει την ύπαρξη αντιγόνου οφείλεται στον σχηματισμό ενός συμπλόκου, μεταξύ του αντιγόνου, του αντισώματος ανίχνευσης και του καθηλωμένου αντισώματος, στη γραμμή τεστ (T)(9) (10). Η εμφάνιση ερυθρής χροιάς οφείλεται στις οπτικές ιδιότητες των νανοσωματιδίων χρυσού (AuNPs) και επιτρέπει την άμεση και ταχεία οπτική ανίχνευση του αναλύτη (7) (11).

Ραδιοανοσοπροσδιορισμός (RIA)

Αν και οι ανοσοδοκιμασίες πλευρικής ροής αποτελούν σύγχρονες, ταχείες διαγνωστικές προσεγγίσεις, η εξέλιξη των ανοσοαναλυτικών μεθόδων στηρίχθηκε σε προγενέστερες τεχνικές υψηλής ευαισθησίας, με κυριότερη τον ραδιοανοσοπροσδιορισμό (RIA). Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε από τους Berson και Yalow το 1960 και επέτρεψε για πρώτη φορά την ακριβή ποσοτικοποίηση ορμονών σε εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (12). Στηριζόταν στον ανταγωνισμό μεταξύ μη επισημασμένης και της ραδιενεργά επισημασμένης ινσουλίνης για τη δέσμευση σε περιορισμένες θέσεις αντισώματος κατά της ινσουλίνης (12). Άλλαξε ριζικά τις βιοιατρικές επιστήμες, συμβάλλοντας καθοριστικά στην κατανόηση της παθοφυσιολογίας του σακχαρώδους διαβήτη και στην ανάδειξη της χρησιμότητας της μέτρησης της κυκλοφορούσας ινσουλίνης σε υγιά και πάσχοντα άτομα (12)(13). Η αναζήτηση για να αντικατασταθούν τα ραδιοϊσοτοπικά ιχνηθετημένα μόρια ανιχνευτές στις ανοσοχημικές τεχνικές κράτησε περισσότερο από μια δεκαετία (5).

Ανοσοενζυμικές Μέθοδοι (EIA)

Το 1969, ξεκινά η ανάπτυξη των ανοσοενζυμικών προσδιορισμών (EIA) με τη δημοσίευση του τρόπου με τον οποίο ένζυμα, όπως η υπεροξειδάση ή η αλκαλική φωσφατάση, μπορούν να συζευχθούν με αντισώματα (14). Η σημαντική εξέλιξη στον τομέα ξεκινά το 1971, όταν περιγράφηκαν οι πρώτες EIA και εισήχθη ο όρος ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay) (15)(16). Οι ανοσοδοκιμασίες

αυτές χρησιμοποιούν επισημασμένα με ένζυμα αντισώματα , επιτρέποντας την ανίχνευση μέσω της ενζυμικής δραστηριότητας (17). Με αυτές τις τεχνικές εξασφαλίστηκαν εναλλακτικές διαγνωστικές μέθοδοι, ασφαλέστερες και εξίσου αποτελεσματικές με τη RIA (18) (19). Από εκείνη τη χρονιά και μετά οι δημοσιεύσεις που αφορούν στις ανοσοδοκιμασίες (Εικόνα 1) άρχισαν να αυξάνονται σημαντικά , κυρίως με έρευνες σχετικά με την αύξηση της ευαισθησίας τους, αλλά και για την ανάπτυξη νέων δοκιμασιών που επιτρέπουν την ποσοτικοποίηση μορίων σε πιο χαμηλές συγκεντρώσεις (20) (21).

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν αντισώματα συζευγμένα με τα ένζυμα αλκαλική φωσφατάση (ALP) ή υπεροξειδάση του χρένου (HRP) για την ανίχνευση πρωτεϊνών, ενώ η ELISA εφαρμόστηκε για την ανίχνευση της ανθρώπινης χοριακής γοναδοτροπίνης (HCG)(22). Η ανίχνευση βασίστηκε στην ενζυμικά καταλυόμενη μεταβολή του χρώματος του υποστρώματος, η οποία μπορεί να μετρηθεί φασματοφωτομετρικά και ήταν ανάλογη της ποσότητας της πρωτεΐνης-στόχου στο δείγμα (22)(23). Αν και αρχικά δεν έφτανε την ευαισθησία της RIA , το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου, ήταν η διατήρηση σε κατάψυξη των χημικά συζευγμένων ενζύμων με αντισώματα, που επέτρεπε τη διατήρηση της ενζυμικής τους δραστηριότητας , ακόμη και μετά από μήνες (15) (22).

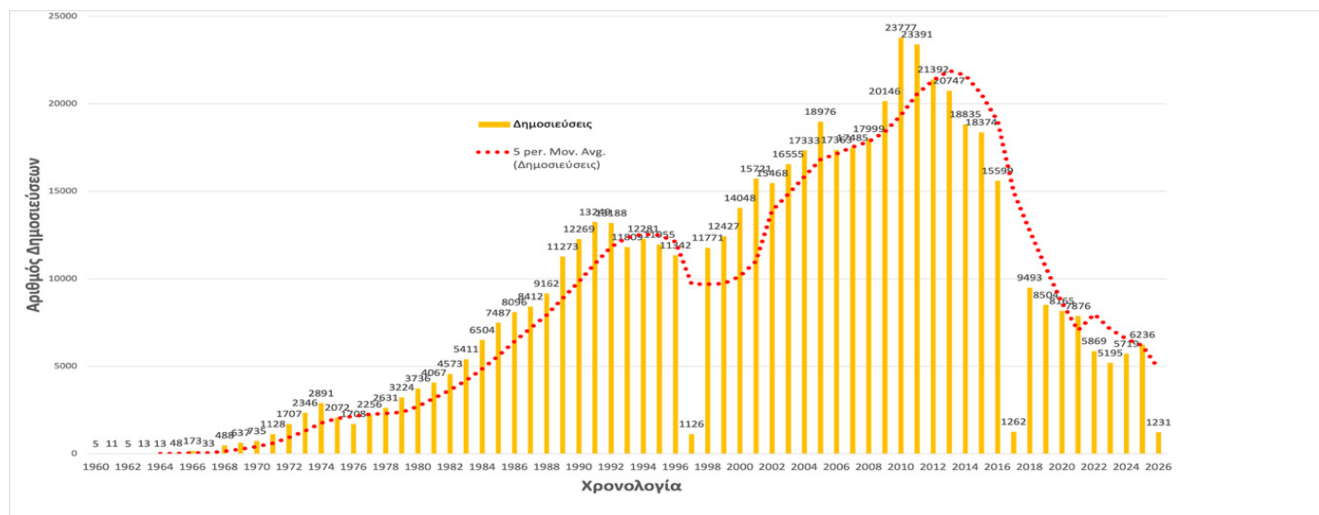
Η εξέλιξη των EIA οδήγησε στην ομογενή ανοσοενζυμική μέθοδο CEDIA (Cloned Enzyme Donor Immunoassay), που βασίζεται στη συμπληρωματικότητα δύο γενετικά τροποποιημένων, ενζυμικά ανενεργών τμημάτων της β-γαλακτοσιδάσης, τα οποία όταν επανασυνδέονται σχηματίζουν το ενεργό ένζυμο (24). Ο αναλύτης, συνδεδεμένος με ένα ενζυμικό τμήμα και ένα ειδικό αντίσωμα εμποδίζει τον σχηματισμό ενεργού ενζύμου , ενώ ο ελεύθερος αναλύτης (προσδιοριζόμενος)

ανταγωνίζεται αυτό το σύμπλοκο, καθορίζοντας την ποσότητα της β-γαλακτοσιδάσης που παράγεται. Η ενζυμική δραστηριότητα είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του αναλύτη, με υψηλή ακρίβεια και χωρίς στάδια διαχωρισμού, καθιστώντας την ιδιαίτερα κατάλληλη για ταχεία και αξιόπιστη ποσοτικοποίηση αναλυτών σε βιολογικά δείγματα (24) (25). Παράλληλα, οι EIA έθεσαν τα θεμέλια για την ανάπτυξη της EMIT (Enzyme Multiplied Immunoassay Technique), που συγκαταλέγεται στις πρώτες ομογενείς ανοσοενζυμικές μεθόδους που εισήχθησαν εμπορικά , το 1973 (26) (17). Στην EMIT, το ένζυμο που είναι συνδεδεμένο με το αντιγόνο μεταβάλλει τη ενεργότητα του, όταν σχηματίζεται το ανοσοσύμπλοκο. Το ελεύθερο αντιγόνο στο δείγμα ανταγωνίζεται το επισημασμένο αντιγόνο για τη σύνδεση με το αντίσωμα, εμποδίζοντας την αναστολή της δραστηριότητας του ενζύμου. Το σήμα είναι ανάλογο με την ποσότητα του ελεύθερου αντιγόνου στο δείγμα (27). Η μέθοδος εφαρμόστηκε αρχικά για την ανίχνευση ναρκωτικών ουσιών στα ούρα (28).

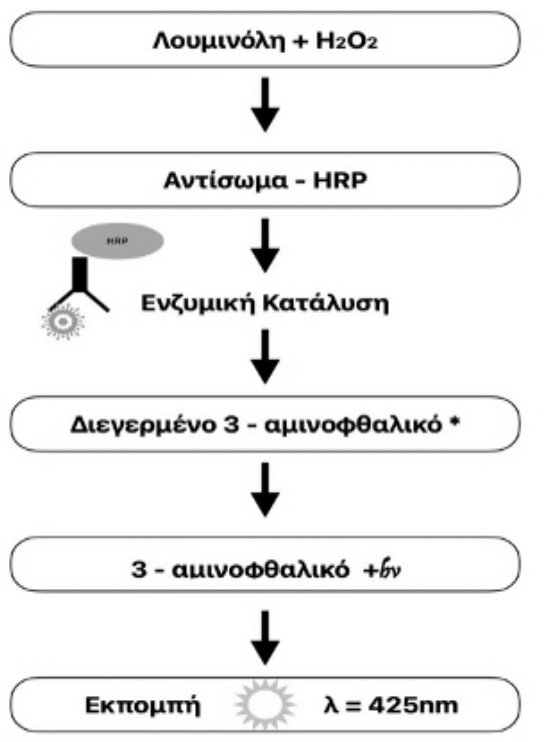
Σήμερα, οι ανοσοενζυμικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία και στη βιοϊατρική έρευνα για την ανίχνευση και ποσοτικοποίηση αντιγόνων ή αντισωμάτων , ενώ, κυρίως , αξιοποιούνται στη διαγνωστική. Σε βιοχημικά εργαστήρια παγκοσμίως αξιοποιούνται πλήρως αυτοματοποιημένα αναλυτικά συστήματα για τη μέτρηση πολυάριθμων αναλυτών σε δείγματα ασθενών (18)(29).

Ανοσοδοκιμασίες Χημιοφωταύγειας (CLIA)

Παρά την αδιαμφισβήτητη συνεισφορά της τεχνικής EMIT στην καθιέρωση του TDM (Therapeutic Drug Monitoring), οι ανάγκες για υψηλότερη αναλυτική ευαισθησία οδήγησαν στην υιοθέτηση των ανοσοχημικών προσδιορισμών χημιο-



Εικόνα 1 Χρονική εξέλιξη του αριθμού δημοσιεύσεων που περιλαμβάνουν τον όρο «immunoassays» στη βάση PubMed από το 1960 έως το 2026



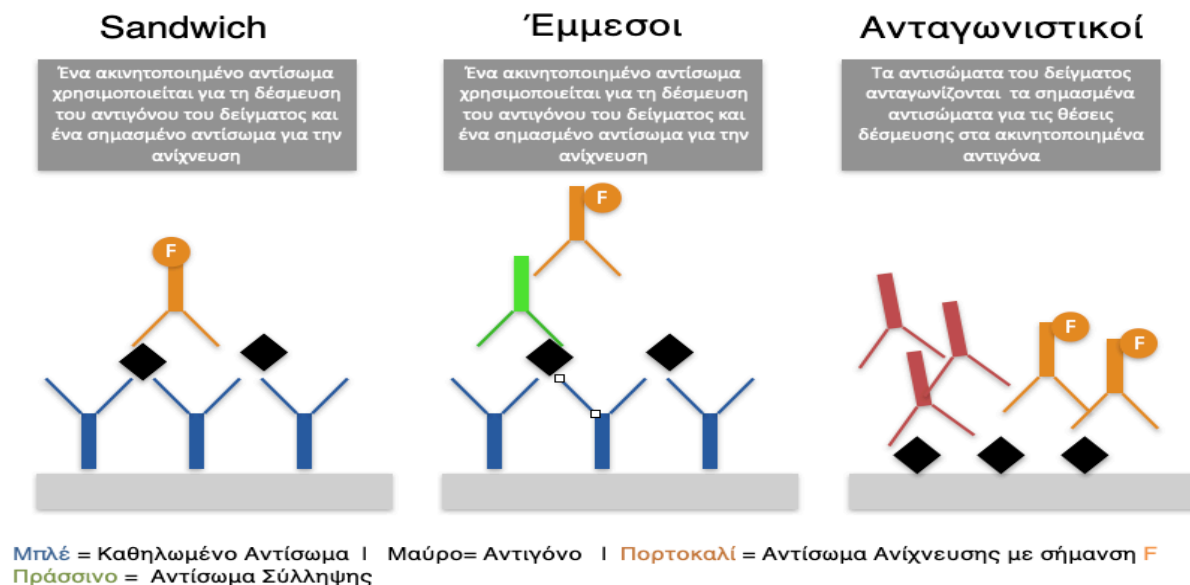
Εικόνα 2 Σχηματική αναπράσταση της χημειοφωταύγειας λουμινόλης σε ανοσοχημικές μεθόδους ανίχνευσης. Το ένζυμο HRP είναι συνδεδεμένο με το αντίσωμα και καταλύει την οξείδωση της λουμινόλης παρουσία υπεροξειδίου του υδρογόνου (H₂O₂), οδηγώντας στον σχηματισμό σχηματισμό σχηματισμό διεγερμένου ενδιάμεσου που εκπέμπει φως σε μέγιστο μήκος κύματος περίπου τα 425 nm.(32)

φωταύγειας (CLIA) (Εικόνα 2) (30). Η εφαρμογή της χημειοφωταύγειας (CL) στις ανοσοχημικές αναλύσεις, προσδίδει, σε σύγκριση με άλλες αναλυτικές μεθόδους, υψηλή ευαισθησία, μεγάλη ταχύτητα, υψηλή ειδικότητα (5) (31) και υψηλό βαθμό αυτοματοποίησης (30). Οι πρώτες αναλύσεις βασίζονταν σε αντιγόνα ή αντισώματα επισήμασμένα με παράγωγα της λουμινόλης. Ωστόσο, η τροποποίηση της μοριακής δομής της συχνά προκαλούσε μείωση της αποδοτικότητας εκπομπής φωτός, γεγονός που οδήγησε στην αναζήτηση νέων μορίων, στα οποία το φαινόμενο αυτό θα είχε μικρότερη επίδραση(5). Οι ανοσοδοκιμασίες CL έχουν εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό πολλών διαφορετικών μορίων, συμπεριλαμβανομένων περιβαλλοντικών ρύπων, βιταμινών, πρωτεϊνών και νουκλεϊκών οξέων (31)(32). Μια ομογενής μέθοδος, που επιτρέπει την ταχεία και ιδιαίτερα ευαίσθητη ποσοτική ανίχνευση ευρέος φάσματος αναλυτών, από μικρά μόρια και φάρμακα έως μόρια DNA, με εξαιρετικά χαμηλά όρια ανίχνευσης, είναι η μέθοδος Luminescent Oxygen Channeling Immunoassay (LOCI) (33). Η LOCI, γνωστή με την εμπορική ονομασία AlphaLISA (34), βασίζεται στην παραγωγή φωτός μέσω ενός συστήματος χημειοφωταύγειας. Στη δοκιμασία αυτή χρησιμοποιούνται σφαιρίδια-δότες και σφαιρίδια-απο-

δέκτες, συζευγμένα με αντισώματα. Με τη μεσολάβηση του μορίου στόχου, σχηματίζεται το ανοσοσύμπλοκο που φέρνει τα σφαιρίδια σε πολύ κοντινή απόσταση. Στη συνέχεια, με ακτινοβόληση παράγονται ρίζες οξυγόνου, που καταλύουν την εκπομπή φωτός (33)(34). Σε μια πιο σύγχρονη εκδοχή, αναπτύχθηκε η multi-LOCI, η οποία συνδυάζει την παραδοσιακή LOCI με την χρήση μικροσυστοιχιών (suspension arrays) επιτρέποντας την ταυτόχρονη δοκιμασία πολλαπλών στόχων, χωρίς στάδια πλύσης, βελτιώνοντας σημαντικά την ευελιξία, την ευαισθησία και την πρακτική εφαρμογή της τεχνικής σε σύνθετα δείγματα (35). Με περαιτέρω βελτιώσεις προκύπτουν νέες αναλυτικές μέθοδοι, όπως ο ανοσοπροσδιορισμός έγχυσης ροής, η δισδιάστατη multiplex ανάλυση CL και ανοσοπροσδιορισμοί με μαγνητικά νανοσωματίδια, τα οποία οδηγούν σε πρόσθετη αύξηση της κλινικής αποτελεσματικότητας των ανοσοχημικών μεθόδων (30).

Ανοσοδοκιμασίες Φθορισμού (FIA)

Από τη δεκαετία του 1980 έχουν περιγραφεί πολλές παραλλαγές ανοσοχημικών προσδιορισμών φθορισμού (36), τόσο τεχνικές που απαιτούν στάδια πλύσης για την απομάκρυνση των ελεύθερων αντιγόνων και αντισωμάτων (ετερογενείς) όσο και τεχνικές που δεν απαιτούν στάδιο διαχωρισμού για την απομάκρυνση των μη δεσμευμένων αντιγόνων και αντισωμάτων (ομογενείς) (37). Παράλληλα, αναπτύχθηκαν και πιο εξειδικευμένες μέθοδοι, όπως οι μέθοδοι μεταφοράς ενέργειας φθορισμού (Fluorescence Resonance Energy Transfer Immunoassay, FRET), πόλωσης φθορισμού (FPIA), στερεής φάσης τύπου "dipstick και μικροσφαιριδιακών συστημάτων (Fluorescence microbead Immunoassay)(36). Ένας βασικός περιορισμός στις ανοσοδοκιμασίες φθορισμού ήταν η σύντομη διάρκεια ζωής ορισμένων φθορίζοντων μορίων, που αντιμετωπίστηκε με τη χρήση της τεχνικής Time-Resolved FRET (TR-FRET), η οποία περιγράφηκε για πρώτη φορά το 1988 (38) αυξάνοντας την ευαισθησία και την αξιοπιστία της ανοσοδοκιμασίας (37). Η εξέλιξη των τεχνολογιών φθορισμού οδήγησε στην ανάπτυξη σύγχρονων ομογενών αισθητήρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πρωτοποριακή στρατηγική «quenchbody». Αυτή βασίζεται στην εξαρτώμενη από το αντιγόνο εξασθένιση του φαινομένου απόσβεσης (quenching), ενός φθοροφόρου μορίου που είναι συνδεδεμένο με το αντίσωμα ανίχνευσης (39). Παράλληλα, οι τεχνικές Proximity Liagation assays (PLA) αξιοποιούν τη χρήση επισήμασμένων αντισωμάτων με ολιγονουκλεοτίδια. Το σήμα ανίχνευσης παράγεται όταν βρεθούν πολύ κοντά οι αλληλουχίες, μετά τη σύνδεση των αντισωμάτων με το μόριο στόχο (40), εξασφαλίζοντας εξαιρετικά χαμηλά όρια ανίχνευσης (41). Σε συνέχεια της προσέγγισης αναπτύχθηκε μια νέα ομογενής ανοσοδοκιμασία, που ανιχνεύει την πρωτεΐνη-στόχο μέσω φθορισμού που παράγεται από τη σύζευξη της με αντισώματα επισήμασμένα με μικρές φθορίζουσες αλληλουχίες ολιγονουκλεοτιδίων (42). Στο ίδιο πλαίσιο ενσωμάτωσης μοριακών τεχνικών στις ανοσοχημικές μεθόδους εντάσσεται και η Immuno-PCR (iPCR), που συνδυάζει την



Εικόνα 3 Διάφοροι Τύποι Ανοσοχημικών Προσδιορισμών (43)

ειδικότητα των ανοσοαναλύσεων με την ενίσχυση του σήματος της PCR. Στη δοκιμασία αυτή χρησιμοποιείται ένα ολιγονουκλεοτίδιο DNA συνδεδεμένο με αντίσωμα. Η ενίσχυση του ολιγονουκλεοτιδίου με PCR, μετά τη δέσμευση του αντισώματος με το αντιγόνο, επιτρέπει την ανίχνευση εξαιρετικά μικρών ποσοτήτων μορίων-στόχου (41).

Σε σύγκριση με τις τεχνικές φθορισμού, μέθοδοι που εμφανίζουν χαμηλότερο σήμα υποβάθρου, και, κατ' επέκταση, υψηλότερη ευαισθησία είναι αυτές που βασίζονται στη βιοφωταύγεια (37). Το γεγονός αυτό οφείλεται, κυρίως, στο ότι οι φθορισμομετρικές δοκιμασίες ενδέχεται να επηρεάζονται από την παρουσία φθοροφόρων μορίων στα βιολογικά δείγματα που αναλύονται (44). Ως αποτέλεσμα, οι μέθοδοι αυτοί καθίστανται ιδιαίτερα κατάλληλες για την ανάπτυξη ομογενών διαγνωστικών ανοσοδοκιμασιών POC (45). Στο πλαίσιο αυτό, το 2021 αναπτύχθηκε μια ομογενής ανοσοδοκιμασία βασισμένη στη βιοφωταύγεια, η οποία, με τη χρήση διαιρεμένης λουσιφεράσης, επιτρέπει την ταχεία και ευαίσθητη ποσοτικοποίηση βιομορίων σε πολύπλοκα κλινικά δείγματα (45).

Ηλεκτροχημικοί Ανοσοπροσδιορισμοί (CLIA)

Μετά την καθιέρωση των ενζυμικών ανοσοπροσδιορισμών, αναπτύχθηκαν οι ηλεκτροχημικοί ανοσοπροσδιορισμοί, οι οποίοι αποτελούν τις νεότερες τεχνικές ανίχνευσης, που εμφανίστηκαν από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 (46). Σε αυτές τις δοκιμασίες, η αντίδραση αντιγόνου-αντισώματος ανιχνεύεται μέσω ηλεκτροχημικού σήματος που παράγεται κατά την αλληλεπίδρασή τους (47) (48). Γι αυτό τον σκοπό αναπτύχθηκαν ποτενσιομετρικοί, αμπερομετρικοί, βοηταμετρικοί ανιχνευτές τόσο για άμεσους όσο και για έμμεσους ηλεκτροχημικούς ανοσοπροσδιορισμούς, αξιοποιώντας διαφορετικά ο καθένας το ηλεκτροχημικό σήμα που προκύπτει

από τη σύνδεση αντιγόνου-αντισώματος (48)(49)(50). Οι μέθοδοι αυτές συνδυάζουν την ανοσολογική ειδικότητα με την ευαισθησία της ηλεκτροχημικής ανίχνευσης, επιτρέποντας την ποσοτικοποίηση αναλυτών σε σύνθετα βιολογικά δείγματα σε χαμηλές συγκεντρώσεις (47)

Στη σύγχρονη διαγνωστική είναι απαραίτητη η αξιολόγηση πολλαπλών βιοδεικτών για μια πληρέστερη και πιο αξιόπιστη εικόνα μιας νόσου. Μια αναμενόμενη εξέλιξη αποτελεί η ανάπτυξη των πολλαπαραμετρικών ανοσοδοκιμασιών (multiplexed immunoassays), οι οποίες επιτρέπουν την ταυτόχρονη ανίχνευση πολλών στόχων στην ίδια δοκιμασία, μειώνοντας τον χρόνο ανάλυσης και ελαχιστοποιώντας την ποσότητα του δείγματος (51)(34). Σε αυτές τις μεθόδους εφαρμόζονται οι κλασικές αρχές των ανοσοδοκιμασιών, με τη διαφορά ότι τα μόρια δέσμευσης ακινητοποιούνται παράλληλα σε πολλαπλές θέσεις ανάλυσης (51). Εκτός της ανίχνευσης με τη χρήση επισημασμένων μορίων, έχουν αναπτυχθεί και στρατηγικές ανίχνευσης χωρίς σήμανση (label-free), όπως η ανίχνευση μέσω επιφανειακού πλάσμονικού συντονισμού (surface plasmon resonance)(51), η μικροπαραμετρομετρία περιστρεφόμενου δίσκου (spinning-disk microinterferometry (52) και οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες με κρυστάλλους χαλαζία (quartz crystal microbalances)(51), καθώς και οι ανοσοδοκιμασίες που βασίζονται στο φαινόμενο Surface-Enhanced Raman Scattering (SERS), οι οποίες έχουν ευρεία εφαρμογή σε τομείς πέρα από τη διάγνωση ασθενειών, όπως η εποπτεία της ασφάλειας τροφίμων και του περιβάλλοντος (53)

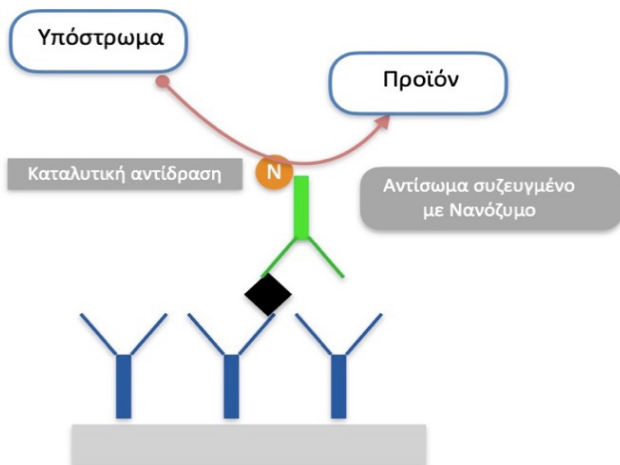
Τα χαμηλά όρια ανίχνευσης επιβάλλονται επίσης για την έγκαιρη αναγνώριση και αντιμετώπιση των ασθενειών. Οι τεχνικές single molecule immunoassays εμφανίζουν χαμηλότερα όρια ανίχνευσης από τις παραδοσιακές τεχνικές ELISA

και CLIA (10^{-16} – 10^{-12} mol/L), φτάνοντας ως 10^{-18} mol/L. Βασίζονται κυρίως σε μικροσυτοιχίες (microarrays) και στην ανίχνευση μέσω νανοπόρων (nanopore-based), με πιο αντιπροσωπευτική και ευρέως χρησιμοποιούμενη την προσέγγιση SIMOA (54). Παρά τα πλεονεκτήματά τους, υπάρχουν ακόμα περιορισμοί για την εφαρμογή τους σε POC δοκιμασίες, ενώ φαίνεται να υπάρχει προοπτική για περαιτέρω εξελίξή τους στο μέλλον (55).

Νανοτεχνολογία και Σύγχρονες Εξελίξεις

Τα νεότερα δεδομένα στη νανοτεχνολογία έχουν αυξήσει την ακρίβεια και την αξιοπιστία στις LFIA με τη χρήση πλάσμα-νικών ή μαγνητικών νανοσωματιδίων (56). Πρόσφατη δοκιμασία LFIA, που αξιοποιεί τη σκέδαση πλάσμα-νικών (plasmonic scattering), παρουσιάζει 2600–4400 φορές χαμηλότερο όριο ανίχνευσης σε σύγκριση με τις εμπορικές LFIA που ανιχνεύουν τη γρίπη Α, παρουσιάζοντας υψηλή ευαισθησία που προσεγγίζει σε κλινικές εφαρμογές αυτήν της PCR (57). Η χρήση των νανοϋλικών έχει βρει εφαρμογή και στους ηλεκτροχημικούς ανοσοαισθητήρες, συμβάλλοντας τόσο στη βελτίωση της αγωγιμής επιφάνειας των ηλεκτροδίων όσο και στη καθήλωση των αντισωμάτων σύλληψης σε νανοφορείς, ενισχύοντας την απόδοση των ηλεκτροχημικών ανοσοπροσδιορισμών (49). Συνολικά, η χρήση NPs καθιστά δυνατή την υπέρβαση των περιορισμών των παραδοσιακών διαγνωστικών μεθόδων, ενισχύοντας την ευαισθησία και την ειδικότητα της ανοσοχημικής ανίχνευσης (58). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αντικατάσταση των συζευγμάτων αντισώματος–DNA με νανοσωματίδια που φέρουν συνδεδεμένα ολιγονουκλεοτίδια, τα οποία δημιουργούν ανιχνεύσιμα πρότυπα για PCR, επιτυγχάνοντας ευαισθησία έως και 1000 φορές υψηλότερη σε σύγκριση με τη μέθοδο ELISA. (41)

Στις ενζυμικές ανοσοδοκιμασίες τα φυσικά ένζυμα, συνή-



Εικόνα 4 Ανοσοχημικοί προσδιορισμοί με αντίσωμα συζευγμένο με νανόζυμο. Μπλε: αντίσωμα σύλληψης. Μαύρο: Αντιγόνο. Πράσινο: Αντίσωμα ανίχνευσης. (59)

θως, έχουν χαμηλή σταθερότητα, υψηλό κόστος και δυσκολία στην αποθήκευση. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να αναιρεθούν με τα νανόζυμα (nanozymes) αντικαθιστώντας τα στις ανοσοδοκιμασίες, εξαιτίας της ισοδύναμης ευαισθησίας, ειδικότητας και ανθεκτικότητας που εμφανίζουν (59). Παράδειγμα η χρήση CeO_2 , που παρουσιάζει ενζυμομιμνητική δραστηριότητα, σε χρωματομετρικές αλλήλα και σε δοκιμασίες χημειοφωταύγειας, βελτιώνοντας την απόδοσή τους. Επίσης στις LFIA, σε σύγκριση με τα AuNPs, το CeO_2 εμφανίζει ενεργό καταλυτικό ρόλο, βελτιώνοντας την αναλυτική ευαισθησία, χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά η σταθερότητα των προσδιορισμών (60). Οι LFIA μπορούν να εξελιχθούν σε εξαιρετικά ευαίσθητες δοκιμασίες με την αξιοποίηση προηγμένων στρατηγικών ενίσχυσης σήματος, όπως οι ενζυμο-ενισχυμένες προσεγγίσεις (enzyme-based LFIA) (61). Σε μία σύγχρονη εκδοχή της προηγούμενης τεχνικής αναπτύχθηκε μια μικρορευστομηχανική πλατφόρμα Point Of Care (microfluidic interface), για την διάγνωση της φυματίωσης, με τον προσδιορισμό του βιοδείκτη λιποαραβινομαννάνη (Lipoarabinomannan, LAM) σε ούρα. Η δοκιμασία αυτή παρέχει, σε μικρό χρονικό διάστημα, αξιόπιστα αποτελέσματα με ελάχιστη ανιχνεύσιμη συγκέντρωση 25 ng/mL (62). Νέες τεχνικές ενίσχυσης σήματος αναπτύχθηκαν προκειμένου να παρακαμφθούν κάποια εμπόδια που εμφάνιζε η κλασική ELISA στην ανίχνευση βλαβών της δομής του DNA. Τέτοιες τεχνικές, όπως η Tyramide signal amplification (TSA), η Enhanced polymer one-step staining (EPOS) και η Time resolved amplified cryptate emission (TRACE), μετατρέπουν την ELISA σε μια πιο αξιόπιστη και ευαίσθητη τεχνική, διευρύνοντας τις δυνατότητες της ανοσοανάλυσης στη μελέτη μοριακών δομών. Το ίδιο επιτυγχάνεται και με νεότερες τεχνολογίες όπως ο επιφανειακός πλάσμα-νικός συντονισμός (Surface Plasmon Resonance, SPR) και οι κβαντικές τελείες (Quantum Dots, QDs) (63).

Συμπεράσματα

Οι ανοσοχημικές μέθοδοι έχουν εξελιχθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Αρχικά εξαιτίας της ανάγκης για βελτίωση θεμάτων ασφάλειας, λόγω της χρήσης ραδιοϊσοτόπων, και στη συνέχεια με την ενσωμάτωση νέων τύπων τεχνολογίας, όπως τα νανοϋλικά. Αυτός ο μετασχηματισμός των κλασικών μεθόδων οδήγησε σε πιο προηγμένα και ευαίσθητα αναλυτικά συστήματα προσδιορισμών, με μεγαλύτερη ευαισθησία, ειδικότητα και ταχύτητα. Η ανάπτυξη κατά τα κρίσιμα στάδια της πανδημίας, φορητών διαγνωστικών εργαλείων (point-of-care) διεύρυνε σημαντικά τις δυνατότητες εφαρμογής τους στην κλινική διάγνωση αλλά και στη παρακολούθηση πολλών ασθενειών. Η περαιτέρω πρόοδος στη νανοτεχνολογία και στη μοριακή διαγνωστική, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη νέων βιοδεικτών και την ανάπτυξη τεχνολογιών που επιτρέπουν την ταυτόχρονη πολυπαραμετρική ανάλυση (46), θα ενισχύσει περισσότερο τον ρόλο των ανοσοχημικών μεθόδων στην ιατρική έρευνα και την κλινική εφαρμογή, καθώς και στην επέκταση της χρήσης τους και σε άλλους τομείς.

Βιβλιογραφία

1. Venkatesh, S, *et al.*, IMMUNOASSAYTECHNIQUES: PRINCIPLES, CLASSIFICATION, ADVANCEMENTS, AND APPLICATIONS—A COMPREHENSIVE REVIEW. *International Journal of Pharmacy and Analytical Research* **15**, 1–8 (2026).
2. W. Clarke, L. J. Sokoll, A. J. Rai, Immunoassays. *Contemporary Practice in Clinical Chemistry* 201–214 (2020). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815499-1.00012-0>.
3. W. Clarke, L. J. Sokoll, A. J. Rai, Immunoassays. *Contemporary Practice in Clinical Chemistry* 201–214 (2020). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815499-1.00012-0>.
4. G. Köhler, C. Milstein, Continuous cultures of fused cells secreting antibody of predefined specificity. *Nature* **1975** 256:5517 **256**, 495–497 (1975).
5. I. Weeks, J. S. Woodhead, Chemiluminescence immunoassays. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **7**, 55–58 (1988).
6. N. Younes, *et al.*, Challenges in Laboratory Diagnosis of the Novel Coronavirus SARS-CoV-2. *Viruses* **12**, 582 (2020).
7. K. Fujiuchi, N. Aoki, T. Ohtake, T. Iwashita, H. Kawasaki, Transitions in Immunoassay Leading to Next-Generation Lateral Flow Assays and Future Prospects. *Biomedicines* **2024**, Vol. 12, Page 2268 **12**, 2268 (2024).
8. J. Dinnes, *et al.*, Rapid, point-of-care antigen tests for diagnosis of SARS-CoV-2 infection. *Cochrane Database Syst. Rev.* **2021**, CD013705 (2021).
9. K. M. Koczula, A. Gallotta, Lateral flow assays. *Essays Biochem.* **60**, 111 (2016).
10. G. A. Posthuma-Trumpie, J. Korf, A. Van Amerongen, Lateral flow (immuno)assay: Its strengths, weaknesses, opportunities and threats. A literature survey. *Anal. Bioanal. Chem.* **393**, 569–582 (2009).
11. C. Parolo, A. de la Escosura-Muñiz, A. Merkoçi, Enhanced lateral flow immunoassay using gold nanoparticles loaded with enzymes. *Biosens. Bioelectron.* **40**, 412–416 (2013).
12. S. Blumenthal, The Insulin Immunoassay After 50 Years: A Reassessment. *Perspect. Biol. Med.* **52**, 343–354 (2009).
13. D. A. D’Alessio, Development of the Insulin Radioimmunoassay, the Watershed Moment in Diabetes Research: Revisiting 1960 Diabetes Classics by Berson and Yalow. *Diabetes* **74**, 252–254 (2025).
14. S. Avrameas, Coupling of enzymes to proteins with glutaraldehyde: Use of the conjugates for the detection of antigens and antibodies. *Immunochemistry* **6**, 43–52 (1969).
15. E. Engvall, P. Perlmann, Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) quantitative assay of immunoglobulin G. *Immunochemistry* **8**, 871–874 (1971).
16. B. K. Van Weemen, A. H. W. M. Schuurs, Immunoassay using antigen—enzyme conjugates. *FEBS Lett.* **15**, 232–236 (1971).
17. D. Monroe, Enzyme immunoassay. *Anal. Chem.* **56**, 920A–931A (1984).
18. R. M. Lequin, Enzyme immunoassay (EIA)/enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). *Clin. Chem.* **51**, 2415–2418 (2005).
19. R. D. Grange, J. P. Thompson, D. G. Lambert, R. P. Mahajan, Radioimmunoassay, enzyme and non-enzyme-based immunoassays. *Br. J. Anaesth.* **112**, 213–216 (2014).
20. C. P. Price, The Evolution of Immunoassay as Seen Through the Journal Clinical Chemistry. *Clin. Chem.* **44**, 2071–2074 (1998).
21. R. M. Lequin, Enzyme Immunoassay (EIA)/Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA). *Clin. Chem.* **51**, 2415–2418 (2005).
22. E. Ornelas-Gatdula, X. An, J. B. Spangler, N. Arroyo-Currás, Adapting antibody–invertase fusion protein immunoassays to multiwell plates for infectious disease antibody quantification. *Sensors and Diagnostics* **5**, 83–93 (2025).
23. The enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). *Bull. World Health Organ.* **54**, 129 (1976).
24. D. R. Henderson, S. B. Friedman, J. D. Harris, CEDIA, a new homogeneous immunoassay system. *Clin. Chem.* **32**, 1637–1641 (1986).
25. W. Dieter Engel, P. L. Khanna, CEDIA in vitro diagnostics with a novel homogeneous immunoassay technique. Current status and future prospects. *J. Immunol. Methods* **150**, 99–102 (1992).
26. A. Dasgupta, “Chapter 1 - Immunoassay Design and Mechanism of Biotin Interference” in *Biotin and Other Interferences in Immunoassays*, A. Dasgupta, Ed. (Elsevier, 2019), pp. 1–15.
27. E. Engvall, [28] Enzyme immunoassay ELISA and EMIT. *Methods Enzymol.* **70**, 419–439 (1980).
28. A. Dasgupta, Immunoassay Design and Mechanism of Biotin Interference. *Biotin and Other Interferences in Immunoassays* 1–15 (2019). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816429-7.00001-0>.
29. S. D. Gan, K. R. Patel, Enzyme immunoassay and enzyme-linked immunosorbent assay. *Journal of Investigative Dermatology* **133**, 1–3 (2013).
30. L. Cinquanta, D. E. Fontana, N. Bizzaro, Chemiluminescent immunoassay technology: what does it change in autoantibody detection? *Auto-Immunity Highlights* **8**, 9 (2017).
31. Z. Zhang, *et al.*, Peroxidase-catalyzed chemiluminescence system and its application in immunoassay. *Talanta* **180**, 260–270 (2018).
32. P. Khan, *et al.*, Luminol-Based Chemiluminescent Signals: Clinical and Non-clinical Application and Future Uses. *Appl. Biochem. Biotechnol.* **173**, 333 (2014).

33. E. F. Ullman, *et al.*, Luminescent oxygen channeling immunoassay: Measurement of particle binding kinetics by chemiluminescence. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **91**, 5426–5430 (1994).
34. Q. Guo, *et al.*, Multiplexed Luminescence Oxygen Channeling Immunoassay Based on Dual-Functional Barcodes with a Host-Guest Structure: A Facile and Robust Suspension Array Platform. *Small* **16**, 1907521 (2020).
35. Z. Feng, *et al.*, Evolution of “on-Barcode” Luminescence Oxygen Channeling Immunoassay by Exploring the Barcode Structure and the Assay System. *ACS Omega* **7**, 2344–2355 (2022).
36. J. M. Hicks, Fluorescence immunoassay. *Hum. Pathol.* **15**, 112–116 (1984).
37. A. Q. Rani, B. Zhu, H. Ueda, T. Kitaguchi, Recent progress in homogeneous immunosensors based on fluorescence or bioluminescence using antibody engineering. *Analyst* **148**, 1422–1429 (2023).
38. L. E. Morrison, Time-resolved detection of energy transfer: Theory and application to immunoassays. *Anal. Biochem.* **174**, 101–120 (1988).
39. R. Abe, *et al.*, “Quenchbodies”: quench-based antibody probes that show antigen-dependent fluorescence. *J. Am. Chem. Soc.* **133**, 17386–17394 (2011).
40. S. M. Gustafsdottir, *et al.*, Proximity ligation assays for sensitive and specific protein analyses. *Anal. Biochem.* **345**, 2–9 (2005).
41. H. Chen, *et al.*, Nanoparticle-Based Proximity Ligation Assay for Ultra-Sensitive, Quantitative Detection of Protein Biomarkers. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **10**, 31845 (2018).
42. E. Heyduk, B. Dummit, Y. H. Chang, T. Heyduk, Molecular Pincers: Antibody-Based Homogeneous Protein Sensors. *Anal. Chem.* **80**, 5152–5159 (2008).
43. S. GS, A. CV, B. B. Mathew, Biosensors: A Modern Day Achievement. *Journal of Instrumentation Technology* **2**, 26–39 (2014).
44. F. Fan, K. V. Wood, Bioluminescent assays for high-throughput screening. *Assay Drug Dev. Technol.* **5**, 127–136 (2007).
45. M. P. Hall, *et al.*, Toward a Point-of-Need Bioluminescence-Based Immunoassay Utilizing a Complete Shelf-Stable Reagent. *Anal. Chem.* **93**, 5177–5184 (2021).
46. A. H. B. Wu, A selected history and future of immunoassay development and applications in clinical chemistry. *Clin. Chim. Acta* **369**, 119–124 (2006).
47. S. H. Jenkins, W. R. Heineman, H. B. Halsall, Extending the detection limit of solid-phase electrochemical enzyme immunoassay to the attomole level. *Anal. Biochem.* **168**, 292–299 (1988).
48. A. Warsinke, A. Benkert, F. W. Scheller, Electrochemical immunoassays. *Fresenius J. Anal. Chem.* **366**, 622–634 (2000).
49. A. V. Police Patil, Y. S. Chuang, C. Li, C. C. Wu, Recent Advances in Electrochemical Immunosensors with Nanomaterial Assistance for Signal Amplification. *Biosensors (Basel)*. **13**, 125 (2023).
50. F. Mollarasouli, S. Kurbanoglu, S. A. Ozkan, The Role of Electrochemical Immunosensors in Clinical Analysis. *Biosensors 2019, Vol. 9, Page 86* **9**, 86 (2019).
51. A. A. Ellington, I. J. Kullo, K. R. Bailey, G. G. Klee, Antibody-Based Protein Multiplex Platforms: Technical and Operational Challenges. *Clin. Chem.* **56**, 186 (2009).
52. M. M. Varma, H. D. Inerowicz, F. E. Regnier, D. D. Nolte, High-speed label-free detection by spinning-disk micro-interferometry. *Biosens. Bioelectron.* **19**, 1371–1376 (2004).
53. Z. Wang, S. Zong, L. Wu, D. Zhu, Y. Cui, SERS-Activated Platforms for Immunoassay: Probes, Encoding Methods, and Applications. *Chem. Rev.* **117**, 7910–7963 (2017).
54. B. Li, *et al.*, Recent advances in single-molecule immunoassays and their clinical applications. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **195**, 118604 (2026).
55. Y. Wu, Y. Fu, J. Guo, J. Guo, Single-molecule immunoassay technology: Recent advances. *Talanta* **265** (2023).
56. P. Nath, A. Ray, Nanotechnology-based strategies for advancing point-of-care lateral flow immunoassays. *Curr. Opin. Biomed. Eng.* **28**, 100504 (2023).
57. B. Lee, *et al.*, Lateral flow immunoassay using plasmonic scattering. *Nature Communications* **2025 16:1** **16**, 3377- (2025).
58. Y. Yang, Y. Dai, Q. Zhao, Recent trends and applications of nanoparticle-based lateral flow immunoassays in infectious diseases detection. *Microchemical Journal* **216**, 114797 (2025).
59. L. Zhou, *et al.*, Recent Advances in the Immunoassays Based on Nanozymes. *Biosensors 2022, Vol. 12, Page 1119* **12**, 1119 (2022).
60. J. H. T. Luong, Overcoming HRP/TMB/H₂O₂ Limitations in LFIAs Using Cerium Oxide Nanozymes with Built-In Peroxidase Activity. *Biosensors (Basel)*. **16**, 96 (2026).
61. D. Calabria, *et al.*, Recent Advancements in Enzyme-Based Lateral Flow Immunoassays. *Sensors (Basel)* **21** (2021).
62. Y. Panraksa, *et al.*, Simple manipulation of enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) using an automated microfluidic interface. *Analytical Methods* **14**, 1774–1781 (2022).
63. K. Boguszewska, M. Szewczuk, S. Urbaniak, B. T. Karwowski, Review: immunoassays in DNA damage and instability detection. *Cell. Mol. Life Sci.* **76**, 4689 (2019).

Χημεία και ενεργός πολίτης: μια ουσιαστική σχέση στη σύγχρονη κοινωνία

Αθανάσιος Μπαζιώτης, Χημικός, Εκπαιδευτικός Β/θμιας Εκπ/σης, Απόφοιτος Ε.Σ.Δ.Δ.Α. baziotisthanasis@gmail.com
Νικόλαος Ζήκος Δρ. Χημικός, Εκπαιδευτικός Β/θμιας Εκπ/σης, Διευθυντής Σχολικής Μονάδας nzikoschem@yahoo.gr

Στη σημερινή πραγματικότητα, ο ορισμός του ενεργού πολίτη έχει μετεξελιχθεί ουσιαστικά, καθώς συνδέεται άρρηκτα με την ικανότητα του ατόμου να αποκωδικοποιεί τον περίπλοκο κόσμο που το περιβάλλει και να κατανοεί τις πολυπαραγοντικές διαστάσεις των σύγχρονων κοινωνικών φαινομένων. Δεν αρκεί πλέον η απλή γνώση των δικαιωμάτων και των υποχρεώσεων που απορρέουν από την ιδιότητα του πολίτη, αλλά απαιτείται η ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής αξιολόγησης των πληροφοριών, η ικανότητα ερμηνείας επιστημονικών και κοινωνικών δεδομένων, καθώς και η λήψη υπεύθυνων αποφάσεων που επηρεάζουν τόσο την προσωπική ευημερία όσο και τη συνοχή και σταθερότητα του κοινωνικού συνόλου. Σε αυτό το πλαίσιο, η Χημεία παύει να θεωρείται ένα στεγνό σχολικό μάθημα ή ένας απομονωμένος εργαστηριακός κλάδος περιορισμένος στο πλαίσιο της σχολικής τάξης. Αντιθέτως, αναδεικνύεται σε μια δυναμική επιστήμη με άμεσες και πολυεπίπεδες εφαρμογές στις καθημερινές δραστηριότητες, στη λήψη κοινωνικών αποφάσεων και στη συγκρότηση μιας συνειδητής και υπεύθυνης πολιτειακής στάσης (UNESCO, 2015).

Η παρουσία της Χημείας είναι καθολική και διαπερνά σχεδόν κάθε πτυχή του υλικού και τεχνολογικού μας πολιτισμού: από τη σύσταση και τη θρεπτική αξία των τροφίμων, τη δράση των φαρμακευτικών σκευασμάτων και των καλλυντικών προϊόντων, μέχρι την παραγωγή πετροχημικών, την επεξεργασία πρώτων υλών και την ανάπτυξη προηγμένων κατασκευαστικών και βιομηχανικών υλικών. Καθώς οι χημικές διεργασίες βρίσκονται στον πυρήνα της ζωής, της υγείας και της τεχνολογικής προόδου, ο ενεργός πολίτης οφείλει να κατέχει ένα βασικό επίπεδο επιστημονικού εγγραμματισμού. Αυτή η παιδεία δεν περιορίζεται στη θεωρητική γνώση, αλλά λειτουργεί ως εργαλείο κατανόησης και υπεύθυνης στάσης απέναντι σε κρίσιμα ζητήματα που αφορούν την υγεία, την περιβαλλοντική ισορροπία και τη βιωσιμότητα. Για παράδειγμα, η κατανόηση της χημικής δομής των τροφίμων, του ρόλου των συντηρητικών και των πρόσθετων ουσιών, καθώς και της πιθανής επικινδυνότητας ορισμένων χημικών ενώσεων, θωρακίζει τον πολίτη και του επιτρέπει να προβαίνει σε πιο ορθολογικές, ασφαλείς και συνειδητές επιλογές ως καταναλωτής, ενισχύοντας την αυτονομία του στην καθημερινή ζωή (OECD, 2023). Επιπλέον, η επιστήμη της Χημείας διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην ευαισθητοποίηση των πολιτών απέναντι στις σύγχρονες περιβαλλοντικές προκλήσεις, οι οποίες αποτελούν

σήμερα μείζονα ζητήματα παγκόσμιου ενδιαφέροντος. Φαινόμενα όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, η οξίνιση των υδάτων μέσω της όξινης βροχής, η αύξηση των συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου και η επιδείνωση της κλιματικής αλλαγής, καθώς και οι δυσκολίες που σχετίζονται με τη διαχείριση στερεών και υγρών αποβλήτων, ερμηνεύονται σε μεγάλο βαθμό μέσα από χημικές έννοιες και μηχανισμούς. Ο πολίτης που κατανοεί αυτούς τους μηχανισμούς δεν παραμένει παθητικός δέκτης ειδήσεων ή πληροφοριών. Αντίθετα, είναι σε θέση να ενημερώνεται έγκυρα, να αξιολογεί τις πηγές πληροφόρησης, να συμμετέχει ενεργά σε συλλογικές δράσεις προστασίας του περιβάλλοντος, να υποστηρίζει πολιτικές βιώσιμης ανάπτυξης και να ενσωματώνει οικολογικές πρακτικές στην καθημερινότητά του, όπως η ανακύκλωση, η εξοικονόμηση ενέργειας και η υπεύθυνη κατανάλωση προϊόντων (Levinson & The Parsel Consortium, 2020).

Στη σύγχρονη «κοινωνία της πληροφορίας», όπου ο όγκος των δεδομένων και των ειδήσεων είναι καταγιστικός και συχνά ανεξέλεγκτος, η ικανότητα διάκρισης της αλήθειας από το ψεύδος αποκτά ζωτική σημασία. Οι πολίτες εκτίθενται καθημερινά σε πληθώρα ισχυρισμών, διαφημιστικών μηνυμάτων και δημοσιευμάτων που πολλές φορές περιβάλλονται από έναν «επιστημονικοφανή» μανδύα, χωρίς να διαθέτουν πραγματική τεκμηρίωση. Σε αυτό το σημείο, η Χημεία συμβάλλει καθοριστικά στην καλλιέργεια της κριτικής σκέψης και της επιστημονικής μεθοδολογίας. Μέσα από τη θεωρητική κατάρτιση, την πειραματική διερεύνηση και τη διαδικασία ελέγχου υποθέσεων, το άτομο μαθαίνει να αναζητά αποδείξεις, να αξιολογεί δεδομένα και να μην αποδέχεται άκριτα οποιονδήποτε ισχυρισμό. Η σημασία αυτής της δεξιότητας αναδείχθηκε ιδιαίτερα σε περιόδους υγειονομικών κρίσεων, όπου η κατανόηση βασικών επιστημονικών δεδομένων σχετικά με τα εμβόλια, τα φαρμακευτικά σκευάσματα και τους μηχανισμούς δράσης τους βοήθησε πολλούς πολίτες να αποφύγουν τις παγίδες της παραπληροφόρησης, των ψευδών ειδήσεων και των θεωριών συνωμοσίας (OECD, 2025).

Παράλληλα, δεν πρέπει να παραβλέπεται η ηθική και κοινωνική διάσταση της επιστήμης της Χημείας. Η ευρεία χρήση χημικών ουσιών στη βιομηχανική παραγωγή, στην εντατική γεωργία, στη φαρμακοβιομηχανία, αλλά και στον τομέα των στρατιωτικών εξοπλισμών, δημιουργεί σοβαρά ηθικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά διλήμματα. Ο σύγχρονος πολίτης κα-

λείται να πάρει θέση σε κρίσιμα ερωτήματα, όπως η επιλογή μεταξύ της χρήσης πετροχημικών και της στροφής προς βιοπροϊόντα, η διατήρηση της γραμμικής κατανάλωσης ή η υιοθέτηση αρχών κυκλικής οικονομίας, καθώς και η ισορροπία ανάμεσα στη βιομηχανική ανάπτυξη και την αυστηρή προστασία των οικοσυστημάτων. Η συμμετοχή στον δημόσιο διάλογο για τέτοιου είδους θέματα προϋποθέτει τεκμηριωμένη άποψη, κριτική προσέγγιση και βαθιά κατανόηση των πιθανών συνεπειών κάθε επιλογής. Με αυτόν τον τρόπο, η χημική γνώση μετατρέπεται σε ένα ισχυρό εργαλείο δημοκρατικής συμμετοχής, κοινωνικής ευθύνης και ενεργούς παρέμβασης στα κοινά (Queiruga-Dios et al., 2020).

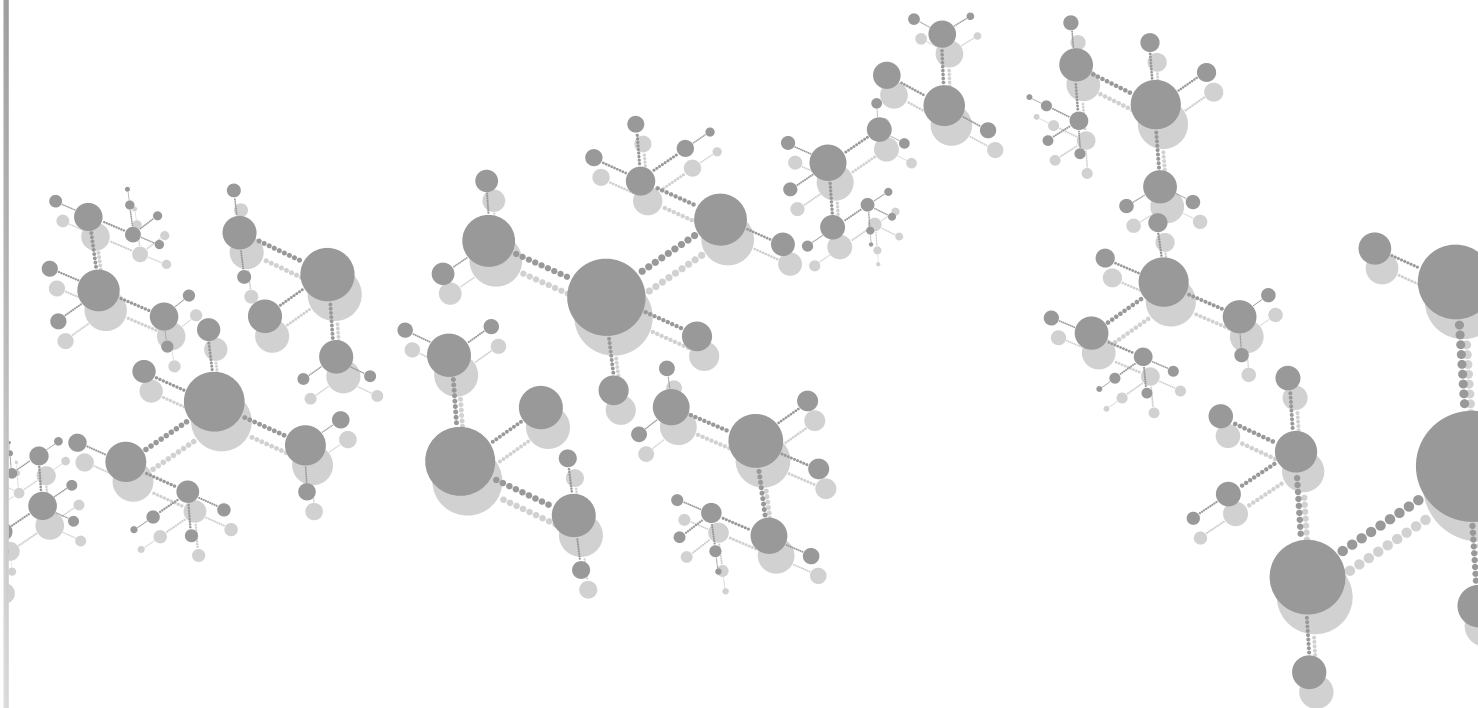
Επιπροσθέτως, η σύνδεση της Χημείας με την εκπαίδευση του ενεργού πολίτη συμβάλλει ουσιαστικά στην ανάπτυξη στάσεων υπευθυνότητας απέναντι στις μελλοντικές γενιές. Η κατανόηση της επίδρασης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στη φύση και η γνώση των επιστημονικών δεδομένων ενισχύουν τη συνειδητοποίηση ότι οι ατομικές επιλογές έχουν συλλογι-

κές συνέπειες. Η επιλογή οικολογικών προϊόντων, η μείωση της χρήσης πλαστικών και η υποστήριξη πράσινων τεχνολογιών αποτελούν παραδείγματα καθημερινών πρακτικών που στηρίζονται σε χημικό γραμματισμό και ενισχύουν τη βιώσιμη πολιτειότητα.

Συμπερασματικά, η αλληλεπίδραση μεταξύ της Χημείας και της ιδιότητας του ενεργού πολίτη είναι πολύ πιο βαθιά και ουσιαστική από μια απλή ακαδημαϊκή σχέση. Η Χημεία παρέχει τα απαραίτητα γνωστικά και μεθοδολογικά εργαλεία για την αποκωδικοποίηση των σύνθετων προβλημάτων της εποχής μας, ενισχύοντας την υπευθυνότητα, την κριτική ικανότητα και τη συμμετοχή στα κοινά. Σε έναν κόσμο όπου οι επιστημονικές ανακαλύψεις και οι τεχνολογικές εξελίξεις καθορίζουν το μέλλον της κοινωνίας, η προαγωγή του χημικού γραμματισμού δεν αποτελεί πολυτέλεια, αλλά θεμελιώδη προϋπόθεση για τη διαμόρφωση ενημερωμένων, υπεύθυνων και αποτελεσματικών πολιτών που εργάζονται συνειδητά για το κοινό καλό και τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Levinson, R., & The Parsel Consortium. (2020). Addressing sustainable development: Promoting active informed citizenry through trans-contextual science education. *Sustainability*, 12(8), Article 3259.
- OECD. (2023). *Science literacy*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- OECD. (2025). *Citizen science and engagement*. Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Queiruga-Dios, M. Á., López-Iñiesta, E., Díez-Ojeda, M., Sáiz-Manzanares, M. C., & Vázquez Dorrío, J. B. (2020). Citizen science for scientific literacy and the attainment of sustainable development goals in formal education. *Sustainability*, 12(10), Article 4283.
- UNESCO. (2015). *Global citizenship education: Topics and learning objectives*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.



Συνέντευξη με την καθηγήτρια **Mary Garçon**, τη νέα Πρόεδρο της **IUPAC** (International Union of Pure and Applied Chemistry - Διεθνής Ένωση Καθαρής και Εφαρμοσμένης Χημείας)

Δρ Σπύρος Κιτσινέλης

Ένωση Ελλήνων Χημικών

Επιμελητής των επιστημονικών περιοδικών Χημικά Χρονικά και Journal of the Association of Greek Chemists

Καθηγήτρια Garçon, ποιες είναι οι βασικές σας προτεραιότητες για την IUPAC κατά τη διάρκεια της προεδρίας σας; Πρόκειται για μια εξαιρετική ερώτηση για να ξεκινήσουμε αυτή τη συζήτηση! Όπως συμβαίνει με πολλές διεθνείς επιστημονικές ενώσεις, και υπό το πρίσμα των σημερινών οικονομικών περιορισμών σε συνδυασμό με τις ταχύτατες τεχνολογικές εξελίξεις, η IUPAC αναζητά νέους τρόπους για να επιτελέσει την αποστολή της.

Μέρος αυτού του νέου τρόπου λειτουργίας περιλαμβάνει διαφορετικές ρυθμίσεις στη διοίκηση της Ένωσης. Μετά από 30 χρόνια παρουσίας στις Ηνωμένες Πολιτείες, προχωρούμε στη μετεγκατάσταση της Γραμματείας της IUPAC σε μια πολυκεντρική ευρωπαϊκή βάση (Ρώμη και Μάλτα). Η μετακίνηση αυτή επιτρέπει την καλύτερη ευθυγράμμιση των λειτουργικών

μας δομών με τον παγκόσμιο επιστημονικό μας ρόλο, καθώς και την ενίσχυση της υποστήριξης προς το διεθνές δίκτυο εθελοντών μας.

Η επιστημονική δομή της IUPAC, η οποία αποτελείται από 8 επιστημονικές επιτροπές, 11 μόνιμες επιτροπές και περισσότερες από 30 υποεπιτροπές, είναι ιδιαίτερα σύνθετη. Το Επιστημονικό Συμβούλιο έχει πραγματοποιήσει εκτενή διαδικασία αξιολόγησης και διαβούλευσης, με στόχο τον εντοπισμό του τρόπου βελτιστοποίησης της επιστημονικής δραστηριότητας της IUPAC, με έμφαση στην προώθηση βασικών στρατηγικών προτεραιοτήτων.

Μια ακόμη σημαντική προτεραιότητα για τα επόμενα 3-5 χρόνια είναι ο επαναπροσδιορισμός και η ενίσχυση της αλληλεπίδρασης της IUPAC με τη βιομηχανία. Αυτό δεν αφορά μόνο τις



μεγάλες πολυεθνικές εταιρείες στους τομείς των φαρμάκων, της γεωργίας, των βασικών χημικών προϊόντων ή της ενέργειας και των υλικών, αλλά και τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις που στηρίζουν την απασχόληση και τις οικονομίες σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Μέσω διαδικτυακών σεμιναρίων και συζητήσεων για την επιχειρηματικότητα και την καινοτομία, η IUPAC μπορεί επίσης να συμβάλει σε ζητήματα που αφορούν τον τομέα των τεχνολογικών νεοφυών επιχειρήσεων.

Το 2023, ενσωματώσαμε το International Younger Chemists Network (IYCN) ως Μόνιμη Επιτροπή της IUPAC. Η αποστολή του είναι η ανάπτυξη ενός παγκόσμιου δικτύου νέων Χημικών, ιδίως σε χώρες όπου οι ευκαιρίες ενσωμάτωσης και καθοδήγησης είναι περιορισμένες. Μέσα από την αλληλεπίδραση με αυτούς τους επιστήμονες του μέλλοντος και την ενεργή ένταξή τους στις επιστημονικές μας δραστηριότητες, η IUPAC επιδιώκει να διασφαλίσει ένα ισχυρό μέλλον για τις χημικές επιστήμες.

Πώς οραματίζετε την εξέλιξη του ρόλου της IUPAC σε έναν κόσμο όπου η χημεία διασταυρώνεται όλο και περισσότερο με την επιστήμη δεδομένων, την τεχνητή νοημοσύνη και τη βιωσιμότητα;

Ο τρόπος με τον οποίο οι ερευνητές, τόσο στον ακαδημαϊκό χώρο όσο και στη βιομηχανία, έχουν πρόσβαση ή δημοσιεύουν δεδομένα και χημικές πληροφορίες μεταβάλλεται ραγδαία, λόγω των εξελίξεων στην απόκτηση και αποθήκευση δεδομένων, καθώς και στις εφαρμογές που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη. Οι πηγές πληροφόρησης πρέπει να συμμορφώνονται με τις αρχές FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) και να διαχειρίζονται ορθά. Η IUPAC είναι μέλος της Επιτροπής για τα Δεδομένα στην Επιστήμη και την Τεχνολογία (CODATA) του Διεθνούς Συμβουλίου Επιστημών και διαθέτει ένα αφοσιωμένο και ιδιαίτερα έμπειρο σύνολο ειδικών, που διαδραματίζουν ηγετικό ρόλο στη διασφάλιση της συνέπειας στην ορολογία και την ονοματολογία, καθώς και στην τυποποίηση μορφοτύπων. Σήμερα, μία από τις βασικές μας προτεραιότητες στον τομέα αυτό είναι η ψηφιοποίηση υφιστάμενων βάσεων δεδομένων της IUPAC (όπως κρίσιμα δεδομένα διαλυτότητας και συντελεστές κινητικής πολυμερών).

Η IUPAC διαδραματίζει επίσης κρίσιμο ρόλο στην υποστήριξη καινοτόμων και παραγωγικών εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης στη χημεία. Η τεχνητή νοημοσύνη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των συνόλων δεδομένων εκπαίδευσης που χρησιμοποιούνται, και το έργο της IUPAC στον καθορισμό προτύπων δεδομένων, καθώς και στην ανάπτυξη μεθόδων επικύρωσης και επαλήθευσης, θέτει μια ασφαλή βάση για τέτοιες εφαρμογές.

Όσον αφορά τη βιωσιμότητα, ένα πρόσφατο αποτέλεσμα έργου της IUPAC είναι ένα σύνολο οκτώ Κατευθυντήριων Αρχών για την Υπεύθυνη Χημεία, οι οποίες ορίζουν ένα πλαίσιο για την ενίσχυση της ευθυγράμμισης μεταξύ επιστημονικής γνώσης και κοινωνικών αναγκών, συμβάλλοντας έτσι στην αντιμετώπιση προκλήσεων που σχετίζονται με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ. Το έργο αυτό υλοποιήθηκε ως συμβολή

της IUPAC στη Διεθνή Δεκαετία των Επιστημών για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη, και πλέον προωθούμε ενεργά αυτές τις αρχές σε άλλες διεθνείς επιστημονικές ενώσεις και εκπαιδευτικά ιδρύματα, με στόχο την ενίσχυση της συλλογικής επίδρασης της επιστήμης στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Πώς βλέπετε την τεχνητή νοημοσύνη να αναδιαμορφώνει τη χημική έρευνα, την ανακάλυψη και την τυποποίηση;

Στο δικό μου ερευνητικό πεδίο, την οργανική χημεία, οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνητή νοημοσύνη μετασχηματίζουν τον τρόπο με τον οποίο επιταχύνουμε την ανακάλυψη μορίων ή την αποσαφήνιση δομών, είτε πρόκειται για προϊόντα πολύπλοκων οργανικών μετασχηματισμών είτε για ενώσεις που απομονώνονται από φυσικές πηγές.

Η πειραματική οργανική σύνθεση μεταβάλλεται ριζικά μέσω της βελτιστοποίησης των συνθηκών αντίδρασης με τη βοήθεια της τεχνητής νοημοσύνης, με στόχο την αύξηση των αποδόσεων. Άλλες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης περιλαμβάνουν την προβλεπτική μοντελοποίηση, η οποία προσφέρει ταχείες λύσεις για την ανάλυση NMR και την επεξεργασία διαφόρων φασμάτων, αποτελώντας εναλλακτική προσέγγιση σε υπολογιστικές μεθόδους όπως η density functional theory (DFT).

Ισχυρά μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να προβλέψουν μοριακές ιδιότητες και να καθοδηγήσουν τον σχεδιασμό νέων υλικών και φαρμάκων, να διερευνήσουν φυσικοχημικές διεργασίες ή να αξιολογήσουν κατά πόσο χημικές και βιομηχανικές διεργασίες είναι βιώσιμες και συμβατές με τις αρχές της πράσινης χημείας. Παράλληλα, η έννοια των «αυτοοδηγούμενων» ή αυτόνομων εργαστηρίων, όπου η ενσωμάτωση με ρομποτικά συστήματα καθοδηγεί τον πειραματισμό, αποτελεί ένα πεδίο που εξακολουθώ να παρακολουθώ.

Θα πρέπει η IUPAC να διαδραματίσει ενεργό ρόλο στον καθορισμό παγκόσμιων προτύπων ή ηθικών κατευθυντήριων γραμμών για τη χημεία που βασίζεται στην τεχνητή νοημοσύνη;

Αναμφίβολα! Πέρα από τον καθορισμό μιας κοινής γλώσσας για την επικοινωνία και την ερμηνεία της χημικής πληροφορίας μέσω μηχανών, η IUPAC οφείλει να συμβάλει στην ανάπτυξη προτύπων για τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στη χημεία, ώστε να διασφαλίζεται ότι οι τεχνολογίες αυτές προάγουν την καινοτομία με ασφαλή και ηθικό τρόπο.

Η Επιτροπή Δημοσιεύσεων και Χημειοπληροφορικών Συστημάτων Δεδομένων (CPCDS) της IUPAC εξετάζει ενεργά τον μελλοντικό ρόλο της Ένωσης σε σχέση με τη χημεία που βασίζεται στην τεχνητή νοημοσύνη. Συνεργαζόμαστε στενά με την CODATA και εξωτερικούς εταίρους για τον καθορισμό γενικών προτύπων και βέλτιστων πρακτικών σχετικά με την τεκμηρίωση και τη διαμοίραση ψηφιακών χημικών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που σχετίζονται με την τεχνητή νοημοσύνη.

Ένας ακόμη σημαντικός ρόλος της IUPAC αφορά την εκπαίδευση. Το εξειδικευμένο περιοδικό *Chemistry Teacher*

International, το οποίο αποτελεί πλατφόρμα για εκπαιδευτικούς χημείας, δημοσίευσε πρόσφατα άρθρο σχετικά με τις κτιτικές προεκτάσεις και τη υπεύθυνη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στη διδασκαλία της χημείας.

Πιστεύετε ότι η χημεία εκπροσωπείται επαρκώς στις παγκόσμιες πολιτικές συζητήσεις σε σύγκριση με άλλες επιστήμες;

Η IUPAC είναι ενεργό μέλος του International Science Council, το οποίο αποτελεί τη «παγκόσμια φωνή» της επιστήμης, μαζί με επιστημονικές ενώσεις που εκπροσωπούν τη φυσική, τα μαθηματικά και άλλους τομείς. Παραδόξως, είναι οι βιολογικές επιστήμες που υποεκπροσωπούνται στην οικογένεια του ISC.

Το ISC συγκεντρώνει παγκόσμια επιστημονική γνώση με στόχο την ενημέρωση και επιρροή δράσεων σε ζητήματα που αφορούν την επιστήμη και την κοινωνία. Έχω ήδη αναφέρει τη σημαντική συμβολή μας στην Επιτροπή Δεδομένων (CODATA), η οποία στοχεύει στη βελτίωση της διαθεσιμότητας και της αξιοποίησης δεδομένων σε όλους τους ερευνητικούς τομείς. Ο Richard Hartshorn από τη Νέα Ζηλανδία, μέλος της IUPAC, είναι Αντιπρόεδρος της CODATA.

Η Επιτροπή του Συμβουλίου για την Ελευθερία και την Ευθύνη στην Επιστήμη, η οποία ασχολείται με βασικές αρχές όπως η προώθηση της επιστήμης ως παγκόσμιου δημόσιου αγαθού και η εμπιστοσύνη στην επιστήμη, έχει άμεση συνάφεια με τη χημεία. Είναι σημαντικό η IUPAC να συνεχίσει να συμμετέχει ενεργά σε αυτό το πλαίσιο.

Ένα ακόμη παράδειγμα της συμβολής της IUPAC στη διεθνή πολιτική είναι ο ρόλος της στην προώθηση της διαφορετικότητας. Μια πρόσφατη έκθεση για την ισότητα των φύλων, που εξετάζει τη συμμετοχή των γυναικών σε ηγετικές θέσεις στον επιστημονικό χώρο, εκπονήθηκε από το ISC, τη Δια-Ακαδημαϊκή Σύμπραξη (IAP) και τη Μόνιμη Επιτροπή για την Ισότητα των Φύλων στην Επιστήμη, στην οποία η IUPAC διαδραματίζει ηγετικό ρόλο. Η IUPAC διαθέτει ισχυρή παράδοση γυναικείας ηγεσίας, αναγνωρίζει όμως την ανάγκη για συνεχή ενίσχυση της αναγνώρισης και εξέλιξης των γυναικών χημικών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Ποιος θα πρέπει να είναι ο ρόλος της IUPAC στη διαμόρφωση διεθνών κανονισμών που βασίζονται στην επιστήμη;

Η IUPAC έχει πρόσφατα αναγνωρίσει ως μία από τις βασικές της προτεραιότητες τη συνεργασία με εξωτερικούς εταίρους για την παροχή επιστημονικών συνεισφορών, ιδιαίτερα σε τομείς που συνδέονται με την επίτευξη ενός πιο βιώσιμου μέλλοντος. Οι τομείς των διεθνών επιστημονικά τεκμηριωμένων κανονισμών που σχετίζονται άμεσα με τη χημεία περιλαμβάνουν το κλίμα και τη βιωσιμότητα, τα χημικά και τη ρύπανση, καθώς και τη βιοτεχνολογία και την υγεία.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της δράσης της IUPAC στον τομέα αυτό είναι η βιοπροοπτική (bioprospecting). Μετά την επικύρωση του Convention on Biological Diversity το 1992, η οποία διασφαλίζει τη δίκαιη και ισότιμη κατανομή των ωφε-

λειών από τη χρήση γενετικών πόρων και συναφούς γνώσης, η IUPAC διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο σε περιφερειακές συζητήσεις μεταξύ της κοινότητας βιοποικιλότητας και βιοπροοπτικής. Οι συζητήσεις αυτές οδήγησαν τελικά σε ένα σύνολο συστάσεων που δημοσιεύθηκαν σε τεχνική έκθεση της IUPAC. Το 2010, το Πρωτόκολλο της Nagoya καθιέρωσε νομικά δεσμευτικούς κανόνες για την πρόσβαση στη βιοποικιλότητα, τη διανομή των ωφελειών και τη συμμόρφωση. Στο πλαίσιο της εστίασής της σε επιστημονικά ζητήματα, η IUPAC καθιέρωσε επίσης ένα διετές συνέδριο για τη Βιοποικιλότητα, το οποίο πλέον συνδιοργανώνεται με το καθιερωμένο Διεθνές Συμπόσιο για τη Χημεία Φυσικών Προϊόντων.

Πιο πρόσφατα, εκπρόσωποι της IUPAC συμμετείχαν σε συναντήσεις που οδήγησαν στη δημιουργία της Διακυβερνητικής Επιστημονικο-Πολιτικής Επιτροπής για τα Χημικά, τα Απόβλητα και τη Ρύπανση από τη Γενική Συνέλευση Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών. Μέσω της Επιτροπής Χημείας και Βιομηχανίας, η IUPAC συμμετέχει επίσης στο SAICM (Στρατηγική Προσέγγιση για τη Διεθνή Διαχείριση Χημικών).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η IUPAC είναι υπογράφουσα της Διακήρυξης της Στοκχόλμης για τη Χημεία του Μέλλοντος (2025), η οποία καλεί σε επείγουσα παγκόσμια συνεργασία για τη θετική μεταμόρφωση του πλανήτη και των κοινωνιών.

Μπορεί η χημεία να λειτουργήσει ως μορφή «επιστημονικής διπλωματίας» και, αν ναι, πώς μπορεί η IUPAC να προωθήσει ενεργά αυτόν τον ρόλο;

Η αξιοποίηση της επιστήμης ως μορφής ήπιας ισχύος για τη δημιουργία γεφυρών μεταξύ κρατών έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη κοινών στρατηγικών υποδομών, όπως οι επιταχυντές σωματιδίων και τα σύγχροτρα στην Ευρώπη και την Ασία, καθώς και διεθνείς ερευνητικές πλατφόρμες στη βιοϊατρική.

Οι απαντήσεις σε πειστικά παγκόσμια ζητήματα, αλλά και η περιορισμένη πρόσβαση σε πληροφορίες και πόρους σε χώρες με αναδυόμενες επιστημονικές υποδομές, καθιστούν αναγκαία την ενίσχυση συνεργατικών και διεπιστημονικών προσπαθειών πέρα από γεωπολιτικά σύνορα. Παράλληλα, απαιτείται ισχυρότερη συμβολή προς τα κυβερνητικά όργανα, ώστε να ενισχυθεί η προτεραιοποίηση της επιστήμης και η υποστήριξη της επιστημονικής εκπαίδευσης.

Η IUPAC μπορεί να συμβάλει αξιοποιώντας το δίκτυο εμπειρών εθελοντών της για την ανάδειξη ζητημάτων παγκόσμιας σημασίας και την παροχή συμβουλών που υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων στη διεθνή επιστημονική πολιτική. Είναι σημαντικό να δρα σε συνεργασία με άλλες επιστημονικές ενώσεις και όχι απομονωμένα, κάτι που επιτυγχάνεται αποτελεσματικά μέσω της συμμετοχής της στο International Science Council. Η IUPAC υπήρξε βασικός οργανισμός υποστήριξης των Κατευθυντήριων Ηθικών Αρχών της Χάγης, που αναπτύχθηκαν με τη συμβολή του Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons και προάγουν την υπεύθυνη χρήση της χημείας, με στόχο την αποτροπή της επανεμφάνισης χημικών όπλων και τη διασφάλιση της ειρηνικής αξιοποίησής της. Οι Κατευθυντή-

ριες Αρχές Υπεύθυνος Χημείας της IUPAC, που αναφέρθηκαν προηγουμένως, αποτελούν φυσική συνέχεια αυτών των αρχών. Ο OPCW αποτελεί σημαντικό εταίρο επιστημονικής διπλωματίας για την IUPAC.

Στο μέλλον, η αποτελεσματική επιστημονική διπλωματία θα απαιτεί τη συμμετοχή της νέας γενιάς επιστημόνων, καθώς και επιστημόνων από αναδυόμενες χώρες. Ένας βασικός ρόλος για οργανισμούς όπως η IUPAC και για την παγκόσμια κοινότητα της χημείας είναι η διασφάλιση ισότιμης πρόσβασης στη γνώση και στους πόρους που υποστηρίζουν την επαγγελματική ανάπτυξη, η παροχή ευκαιριών εκπαίδευσης και η προώθηση της ανταλλαγής γνώσεων σε υποεκπροσωπούμενες ομάδες. Το International Younger Chemists Network συμμετέχει ενεργά σε πρωτοβουλίες για ένα βιώσιμο μέλλον και διοργανώνει ετησίως το «Global Conversation on Sustainability».

Πώς θα πρέπει να προσαρμόζεται η διεθνής επιστημονική συνεργασία όταν οι πολιτικές σχέσεις μεταξύ χωρών επιδεινώνονται;

Σε επίπεδο μεμονωμένων επιστημόνων, οι αλλαγές θα πρέπει να είναι ελάχιστες και οι υφιστάμενες συνεργασίες οφείλουν να συνεχίζονται, εφόσον η έρευνα είναι ηθική. Σε οργανωτικό επίπεδο, και μέσω της συμμετοχής της στο International Science Council, η IUPAC διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση κοινών προτύπων που υποστηρίζουν την επιστημονική πρακτική πέρα από γεωγραφικά σύνορα και υπερασπίζονται την επιστήμη ως παγκόσμιο δημόσιο αγαθό. Με αυτόν τον τρόπο, η επιστήμη συνεχίζει να λειτουργεί ως ένας διακριτικός αθλή αποτελεσματικός δίαυλος διαλόγου και συνεργασίας μεταξύ των εθνών.

Υπάρχουν τομείς όπου η χημική ονοματολογία ή τα πρότυπα χρειάζονται εκσυγχρονισμό;

Υπάρχουν πάντοτε αναδυόμενοι ερευνητικοί τομείς που απαιτούν νέα ονοματολογία. Για παράδειγμα, βρίσκεται σε εξέλιξη έργο της IUPAC για την ονοματολογία της μηχανοχημείας.

Το IUPAC Gold Book, ένα ψηφιακό διαθέσιμο σύνολο χημικών όρων που βασίζεται στις συστάσεις της IUPAC και στα λεγόμενα «Εγχρώμα» βιβλία, χρειάζεται διαρκή επικαιροποίηση, με την προσθήκη νέων όρων και ορισμών. Στο πεδίο της «ψηφιακής» χημείας, είναι σαφής η ανάγκη εκσυγχρονισμού του τρόπου με τον οποίο παρέχονται τα δεδομένα της IUPAC, χρησιμοποιώντας μορφότυπους κατάλληλους για επικοινωνία μεταξύ μηχανών (machine-to-machine). Παράλληλα, απαιτείται βελτίωση της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής στην ερμηνεία χημικών δεδομένων, ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά την αναπαράσταση χημικών δομών και τα ποσοτικά δεδομένα ιδιοτήτων.

Η IUPAC ανταποκρίνεται στην ανάγκη ανάπτυξης ονοματολογίας, ορολογίας και νέων προτύπων μέσω του συστήματος έργων της, στο οποίο προτάσεις από χημικούς από όλο τον κόσμο αξιολογούνται από ομότιμους κριτές (peer review) και, εφόσον εγκριθούν, υποστηρίζονται από εξειδικευμένες ομάδες εργασίας της διεθνούς χημικής κοινότητας.

Πώς μπορεί η IUPAC να συμβάλει στην αντιμετώπιση της παραπληροφόρησης σχετικά με τα χημικά και τους κινδύνους τους;

Η σαφής, διαφανής και έγκυρη ορολογία που αναπτύσσεται από τις ομάδες έργων της IUPAC και δημοσιεύεται ως συστάσεις στο περιοδικό *Pure and Applied Chemistry* συμβάλλει στη μείωση της ασάφειας που συχνά τροφοδοτεί την παραπληροφόρηση. Μέσω της συνεργασίας με διεθνείς εταίρους, η IUPAC ενισχύει την εμπιστοσύνη του κοινού και αντιμετωπίζει τη διασπορά λανθασμένων αντιλήψεων σχετικά με τα χημικά και τους κινδύνους τους.

Για παράδειγμα, μέσω της Επιτροπής Χημείας και Βιομηχανίας (COCI), η IUPAC υλοποιεί προγράμματα εκπαίδευσης στην ασφάλεια, τα οποία επιτρέπουν σε συμμετέχοντες από αναδυόμενες χώρες να παρακολουθούν εργαστήρια για την ανάπτυξη προγραμμάτων περιβαλλοντικής, υγειονομικής και εργασιακής ασφάλειας στους οργανισμούς ή στις χώρες τους. Επιπλέον, η IUPAC έχει συμβάλει σε έργα που διαχέουν πληροφορίες σχετικά με την πρωτοβουλία Responsible Care της παγκόσμιας χημικής βιομηχανίας. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι το Διεθνές Συνέδριο Χημικής Εκπαίδευσης της IUPAC το 2024 περιλάμβανε διήμερο συμπόσιο αφιερωμένο στην ενίσχυση της ασφάλειας και της προστασίας στον τομέα της εκπαίδευσης.

Ποια αναδυόμενα πεδία της χημείας σας ενθουσιάζουν περισσότερο;

Η IUPAC δημοσιεύει κάθε χρόνο μια λίστα με τις δέκα κορυφαίες αναδυόμενες τεχνολογίες, αναδεικνύοντας τον μετασχηματιστικό ρόλο της σύγχρονης χημείας και ενημερώνοντας το ευρύ κοινό. Τα θέματα επιλέγονται με βάση τη δυνατότητά τους να δημιουργούν νέες ευκαιρίες και προοπτικές καθώς και να συμβάλουν στην επίλυση σημαντικών παγκόσμιων προβλημάτων.

Ορισμένοι τομείς έρευνας υψηλού αντίκτυπου, ιδιαίτερα σε υλικά ή συσκευές, φαίνεται να επικεντρώνονται περισσότερο στη βελτιστοποίηση παρά στη ριζική καινοτομία, αν και αυτό ενδέχεται να οφείλεται σε περιορισμένη εξοικείωση με αυτά τα πεδία. Πιο κοντά στα προσωπικά μου ερευνητικά ενδιαφέροντα, παρακολουθώ εξελίξεις σε τομείς όπως τα μεταλλο-οργανικά πλέγματα (MOFs), τη μοριακή (σκελετική) επεξεργασία και τη συνθετική ηλεκτροχημεία που έχουν ιδιαίτερη σημασία για τον φαρμακευτικό τομέα, ενώ συνεχίζω να ενημερώνομαι για τη σύγχρονη βιβλιογραφία στην οργανική χημεία.

Πώς θα πρέπει να προσαρμοστεί η εκπαίδευση στη χημεία ώστε να προετοιμάσει την επόμενη γενιά χημικών;

Η εμφάνιση του διαδικτύου έχει αλλάξει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο ερχόμαστε σε επαφή με την πληροφορία και τη γνώση. Οι εκπαιδευτικοί της χημείας, αντιμετωπίζοντας τη σταδιακή υποχώρηση της κυριαρχίας των παραδοσιακών διαλέξεων και των έντυπων συγγραμμάτων, καλούνται πλέον να δημιουργήσουν ένα διαδραστικό και εξατομικευμένο μαθησιακό περιβάλλον. Ένα περιβάλλον που να δίνει έμφαση στη βαθύ-

τερη κατανόηση του τεχνικού αντικείμενου και στην ανάπτυξη κριτικής σκέψης.

Υπάρχει πλέον πληθώρα τεχνολογικών και λογισμικών εργαλείων διαθέσιμων στην εκπαίδευση, και συνεπώς η συνεχής ενημέρωση σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να μετασχηματίσουν τη διδασκαλία και την έρευνα είναι απαραίτητη.

Η Επιτροπή Εκπαίδευσης στη Χημεία (CCE) της IUPAC συμβάλλει ενεργά στον τομέα μέσω έργων που προωθούν πρακτικές διδασκαλίας βασισμένες σε στοιχεία και τεκμήρια, καινοτομίες στην εκπαίδευση της χημείας και την ενίσχυση της δημόσιας κατανόησης της επιστήμης. Πρόσφατα έργα της CCE περιλαμβάνουν θέματα όπως η συστημική σκέψη στη βιωσιμότητα, τα πειράματα μικρής κλίμακας και η ανάπτυξη ενός πολυγλωσσικού λεξικού χημικών όρων.

Ποια παγκόσμια πρόκληση θεωρείτε ότι η χημεία είναι σε μοναδική θέση να αντιμετωπίσει καλύτερα από κάθε άλλη επιστήμη;

Παρέχοντας κατανόηση σε μοριακό επίπεδο και τα κατάλληλα ερευνητικά εργαλεία, η χημεία βρίσκεται σε ιδανική θέση για να αντιμετωπίσει κρίσιμες προκλήσεις που αφορούν την ενέργεια και την αποανθρακοποίηση, την ασφάλεια και επάρκεια τροφίμων, τη δημόσια υγεία, καθώς και την ποιότητα του νερού.

Μέσω της προώθησης της συνεργασίας, αξιοποιώντας τα παγκόσμια έργα, τα δίκτυα και τις εξωτερικές συνεργασίες της, η IUPAC συμβάλλει ώστε η χημεία να εντάσσεται αποτελεσματικά σε μια ευρύτερη, συντονισμένη επιστημονική προσπάθεια για τη διασφάλιση του μέλλοντος του πλανήτη και των πολιτών. Αυτό δεν μπορεί να αποτελέσει πεδίο ανταγωνισμού μεταξύ επιστημών.

Ποιο μήνυμα θα θέλατε να στείλετε στους νέους Χημικούς που ξεκινούν την καριέρα τους;

Να αισθάνεστε άνετα με τις επιλογές ζωής σας και να αναγνωρίζετε τις ευκαιρίες που παρουσιάζονται. Μη φοβάστε ποτέ να αλλάξετε πεδίο ή κατεύθυνση καριέρας και να αναρωτιέστε «τι θα μπορούσε να προκύψει από αυτό;».

Στη δική μου πορεία, υπήρξαν δύο καθοριστικές στιγμές. Η πρώτη όταν επέλεξα να πάω στην Ιταλία για μεταδιδακτορική έρευνα, ενώ οι περισσότεροι συμφοιτητές μου πήγαν στη Βόρεια Αμερική, και η δεύτερη όταν άφησα μια μόνιμη θέση στη φαρμακευτική βιομηχανία για να μετακινηθώ στο τότε νέο ερευνητικό πεδίο των θαλάσσιων φυσικών προϊόντων στην Αυστραλία.

Κάθε φορά που συναντώ καταξιωμένους Χημικούς σε συνέδρια, παρατηρώ ότι το υπόβαθρό τους είναι εξαιρετικά ποικιλόμορφο, συχνά και απρόσμενο. Το μήνυμα είναι ότι το ταλέντο μπορεί να προέρχεται από οπουδήποτε.



Σύντομο βιογραφικό σημείωμα

Η Mary Garson είναι Ομότιμη Καθηγήτρια Χημείας στο University of Queensland στο Μπρίσμπεϊν της Αυστραλίας. Σπούδασε στο Newnham College του University of Cambridge (πτυχίο Φυσικών Επιστημών το 1974) και εκπόνησε διδακτορική διατριβή υπό την επίβλεψη του καθηγητή James Staunton το 1977, με θέμα τη βιοσύνθεση πολυκετιδίων μυκήτων.

Μετά από μεταδιδακτορική έρευνα στη Ρώμη και στο Cambridge, μετανάστευσε στην Αυστραλία με την ερευνητική υποτροφία Queen Elizabeth II στο James Cook University, όπου ξεκίνησε την έρευνά της στα θαλάσσια φυσικά προϊόντα και τη βιοσύνθεσή τους. Ακολούθησαν ακαδημαϊκές θέσεις στο University of Wollongong και στη συνέχεια στο Queensland.

Η Mary Garson ευχαριστεί τους Javier Garcia-Martinez και Richard Hartshorn για τη συμβολή τους στην προετοιμασία των απαντήσεων στις ερωτήσεις αυτής της συνέντευξης.

References

- R. Blonder, Y. Feldman-Maggor, 'AI for chemistry teaching: responsible AI and ethical considerations', *Chemistry Teacher International*, 2024, 6, 385-395. See <https://doi.org/10.1515/cti-2024-0014>
- L. Nacache, M.-F. Roy, C. Jami, Towards gender equality in scientific organizations: assessment and recommendations. report of the International Science Council, InterAcademy Partnership and Standing Committee for Gender Equality in Science (February 2026). See [doi:10.24948/2026.03](https://doi.org/10.24948/2026.03)
- J. L. Vidal, J. Borges, 'The global conversation on sustainability', *Chemistry International*, 2023, issue 2, 10-16. See <https://doi.org/10.1515/ci-2023-0204>

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΕΣΠΕΡΙΔΑ ΜΕ ΘΕΜΑ «ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ-ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ» Περιφερειακό τμήμα Κρήτης

Την Κυριακή 26 Απριλίου 2026 πραγματοποιήθηκε από το Περιφερειακό Κρήτης της Ένωσης Ελλήνων Χημικών δωρεάν διαδικτυακή εσπερίδα με θέμα «Υγεία και Ασφάλεια στο Εργαστήριο - Νομοθεσία χημικών ουσιών» με αφορμή την Παγκόσμια ημέρα για την Υγεία και την Ασφάλεια στην Εργασία. Ευχαριστούμε θερμά την ομιλήτρια και αγαπητή συνάδελφο Δρ. Μαρία Λουκίδου που για δεύτερη συνεχή χρονιά ανταποκρίθηκε στο κάλεσμα μας και που καθήλωσε με την άρτια και επιστημονικά τεκμηριωμένη παρουσίασή της τους πολυάριθμους συμμετέχοντες. Το Π.τ Κρήτης με στόχο την κατάρτιση και την επαγγελματική ενδυνάμωση των μελών του θα συνεχίσει να διοργανώνει σεμινάρια και δράσεις προς αυτήν την κατεύθυνση και ευχαριστεί για τη συμμετοχή όλων.

Διαδικτυακή εσπερίδα
του Περιφερειακού τμήματος Κρήτης της Ένωσης Ελλήνων Χημικών
Υγεία & Ασφάλεια στο χημικό εργαστήριο
Νομοθεσία χημικών ουσιών
Κυριακή 26 Απριλίου 2026
18:00-21:00
Ομιλήτρια Δρ. Μαρία Λουκίδου
Προϊσταμένη τμήματος Εποπτείας & Τελωνειακής Υποστήριξης,
Χ.Υ. Κεντρικής Μακεδονίας, Γ.Χ.Κ. Α.Α.Δ.Ε.

Χειρισμός επικίνδυνων αποβλήτων

- Τα χημικά απόβλητα, στο Χημικό Εργαστήριο, πρέπει να αδρανοποιούνται και να διατίθενται κατάλληλα. Παρόλο που αφορούν σε μικρές ποσότητες, πρέπει να συλλέγονται και απομακρύνονται από αδειοδοτημένες εταιρείες διαχείρισης επικίνδυνων αποβλήτων.
- Τα απόβλητα συλλέγονται σε περιέκτες ομαδοποιημένα, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκει το απόβλητο.
- Οι περιέκτες θα πρέπει να επισημειώνονται ως «ΑΠΟΒΛΗΤΑ» και να διατηρούνται κλειστοί.
- Οι χώροι που αποθηκεύονται απόβλητα θα πρέπει να επιθεωρούνται σε τακτικά χρονικά διαστήματα και να απομακρύνονται από το εργαστήριο οι γεμάτοι περιέκτες σε καθορισμένο χώρο αποθήκευσης
- Οι περιέκτες θα πρέπει να είναι κατάλληλοι για την κατηγορία των αποβλήτων που περιέχουν.

Αδειοδοτημένη εταιρεία συλλογής μεταφοράς ΕΑ

Α.Α.Δ.Ε.
Ανώτατο Αρχείο
Δημοσίων Έκδοτων

Ηράκλειο, 27.04.2026

Δελτίο Τύπου «Πέρα από το διάβασμα: τα κλειδιά της μαθητικής επιτυχίας»| Απρίλιος 2026

Με ιδιαίτερη επιτυχία και συμμετοχή μαθητών/τριών και γονέων πραγματοποιήθηκε την Κυριακή **26 Απριλίου 2026**, η εκδήλωση με τίτλο «Τα μυστικά όπλα για την επιτυχία πέρα από το διάβασμα», στην Αίθουσα Πολλαπλών Χρήσεων του σχολικού συγκροτήματος του 5ου Ημερησίου Γυμνασίου και του 11ου ΓΕΛ Ηρακλείου.

Η εκδήλωση διοργανώθηκε από τον Σύλλογο Γονέων & Κηδεμόνων του 5ου Ημερησίου Γυμνασίου Ηρακλείου, σε συνεργασία με τον Σύλλογο Γονέων & Κηδεμόνων του 11ου ΓΕΛ Ηρακλείου, με την ουσιαστική υποστήριξη της Ένωσης Ελλήνων Χημικών – Περιφερειακό Τμήμα Κρήτης, η οποία συνέβαλε ενεργά στην επιστημονική τεκμηρίωση και την επιτυχή υλοποίηση της δράσης.

Με αφορμή το βιβλίο του Δρ. Ιωάννη Τσαγκατάκη, Χημικού–Εκπαιδευτικού, και με τη συμβολή της Χημικού–Διατροφολόγου Έλλης Κουτάντου, παρουσιάστηκαν σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των μαθητών/τριών, όπως η ισορροπημένη διατροφή, η επαρκής ξεκούραση, η σωματική άσκηση, η σωστή οργάνωση του χρόνου και η αποτελεσματική διαχείριση του άγχους.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον είχε το βιωματικό εργαστήρι, το οποίο προσέφερε πρακτικές συμβουλές και χρήσιμα εργαλεία στους μαθητές/τριες για την ενίσχυση της συγκέντρωσης, της ενέργειας και της ψυχικής τους ισορροπίας, ενόψει των σχολικών εξετάσεων. Οι συμμετέχοντες είχαν την ευκαιρία να αλληλεπιδράσουν, να θέσουν ερωτήσεις και να λάβουν εφαρμόσιμες κατευθύνσεις για την καθημερινότητά τους.

Η ανταπόκριση του κοινού υπήρξε ιδιαίτερα θερμή, επιβεβαιώνοντας την ανάγκη για συνεργατικές δράσεις που υποστηρί-



ζουν ολιστικά τους μαθητές/τριες, πέρα από τη συμβατική μελέτη. Οι διοργανωτές ευχαριστούν θερμά όλους όσοι παρευρέθηκαν και στήριξαν την εκδήλωση, καθώς και την Ένωση Ελλήνων Χημικών – Περιφερειακό Τμήμα Κρήτης για την πολύτιμη υποστήριξή της και τους ομιλητές Χημικούς για την ουσιαστική συμβολή τους.

Σύνταξη:

Δρ. Κατερίνα Βαβουράκη

Χημικός – Εκπαιδευτικός

Ταμίας Δ.Ε. Ένωσης Ελλήνων Χημικών – Περιφερειακό Τμήμα Κρήτης

& Πρόεδρος του Συλλόγου Γονέων & Κηδεμόνων 5ου Γυμνασίου Ηρακλείου



Ηράκλειο, 27.04.2026

Δελτίο Τύπου Απολογισμός Εκπαιδευτικών Δράσεων Ευρωπαϊκά Μπλε Σχολεία – EUBlueSchools| Απρίλιος 2026

Στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Εκπαιδευτικού Μοντέλου «Μπλε Σχολεία – EUBlueSchools», συνεχίζονται οι εκπαιδευτικές δράσεις σε σχολικές μονάδες Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης της Περιφέρειας Κρήτης καθώς και δράσεις στο πεδίο. Οι δράσεις υλοποιούνται με τη συμμετοχή και τον συντονισμό Χημικών – Εκπαιδευτικών, καθώς και εκπαιδευτικών άλλων ειδικοτήτων των Φυσικών Επιστημών.

Η Ένωση Ελλήνων Χημικών – Περιφερειακό Τμήμα Κρήτης συμβάλλει ουσιαστικά στην υλοποίηση του προγράμματος, παρέχοντας πέντε (5) σετ ημιποσοτικής χημικής ανάλυσης (test kits), ενώ παράλληλα λειτουργεί ως φορέας διάχυσης και ενίσχυσής του. Μέχρι σήμερα, το πρόγραμμα εφαρμόζεται σε δεκαέξι (16) σχολικές μονάδες της Περιφέρειας Κρήτης, με τη συμμετοχή νέων σχολείων να αναμένεται το προσεχές διάστημα και το νέο σχολικό έτος 2026-27.

18η Εκπαιδευτική Δράση (23–24 Απριλίου 2026)

BLEBeach – EUBlueSchools: «Ανακαλύπτοντας τη Γαλάζια Σημαία – Εκπαιδευτική Επίσκεψη στην Παραλία προς Πιστοποίηση» με συντονίστρια τη Δρ. Κατερίνα Βαβουράκη, Χημικό από το 4ο ΓΕΛ Ρεθύμνου (Αρσάνιο Λύκειο) μαζί με τις Δήμητρα Μουρίκη, Βιολόγο και Κατερίνα Αγγελιογιαννάκη, Φιλολόγο. Μαθητές/τριες της Α΄ Λυκείου πραγματοποίησαν διήμερη εκπαιδευτική εκδρομή στον Άγιο Νικόλαο- Κρήτης.

Η δράση πεδίου περιελάμβανε **δειγματοληψίες θαλασσινού νερού** και **χαρτογράφηση της ακτογραμμής** μέσω GIS της παραλίας της **νήσου Σπιναλόγκας**. Ακολούθησε ημιποσοτική χημική ανάλυση δειγμάτων για βασικά ιόντα (φωσφορικά, νιτρικά, νιτρώδη, χλωριούχα, αμμωνίου), εφαρμόζοντας τη θεωρία στην πράξη στην παραλία ενδιαφέροντος.

Στο ίδιο πλαίσιο, οι μαθητές/τριες επισκέφθηκαν το **Χημικό Μικροβιολογικό Εργαστήριο Grekochem**, όπου ενημερώθηκαν από τη συνάδερφο Χημικό, Κατιάννα Κλώντζα για σύγχρονες τεχνικές ανάλυσης και ελέγχου της ποιότητας του νερού, αποκομίζοντας ουσιαστική γνώση για την εφαρμογή της Χημείας σε πραγματικές συνθήκες.





Η επαφή τους με την τοπική παραγωγή ενισχύθηκε μέσα από την επίσκεψη στη βιομηχανική μονάδα φυσικών καλλυντικών **Bioaroma Crete**, του Χημικού **Μανούσου Πεδιαδίτη**, όπου γνώρισαν από κοντά τη διαδικασία παραγωγής προϊόντων βασισμένων σε κρητικές πρώτες ύλες, καθώς και τη σύνδεση της επιστήμης με την επιχειρηματικότητα και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Η εκπαιδευτική δράση ολοκληρώθηκε με επίσκεψη στη **λιμνοθάλασσα Βουλι-σμένη**, στον Άγιο Νικόλαο.

Συνολικά, **δεκαπέντε (15) εκπαιδευτικά έργα** υλοποιούνται σε **δεκαέξι (16) σχολικές μονάδες** της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, ενώ έχουν πραγματοποιηθεί περισσότερες από εξήντα (60) αναλύσεις δειγμάτων νερού στο πλαίσιο του Δικτύου Ευρωπαϊκών Μπλε Σχολείων.

Τα έργα εντάσσονται στο τοπικό δίκτυο «**Μπλε Σχολεία – BLUE25**» και υλοποιούνται με τον συντονισμό της Συμβούλου Εκπαίδευσης Δρ. Μαρίας Καλαθάκη, Βιολόγου,

και τη στήριξη της Περιφέρειας Κρήτης και της Ένωσης Ελλήνων Χημικών – Π.Τ. Κρήτης.

Οι δράσεις πραγματοποιούνται με τη χρήση ειδικών σετ ημιποσοτικής χημικής ανάλυσης (test kits), τα οποία αποκτήθηκαν μέσω χορηγίας του Περιφερειακού Τμήματος Κρήτης της Ένωσης Ελλήνων Χημικών.

Οι δράσεις συνεχίζονται έως την ολοκλήρωση του σχολικού έτους 2025–26, με στόχο την ενίσχυση του **Μπλε εγγραμματισμού** και την ευαισθητοποίηση των μαθητών και μαθητριών σχετικά με τη **βιωσιμότητα και την προστασία των υδάτινων και θαλάσσιων οικοσυστημάτων**. Παραμείνετε σε σύνδεση για συνεχή ενημέρωση!

Σύνταξη:

Δρ. Κατερίνα Βαβουράκη

Χημικός – Εκπαιδευτικός|

Ταμίας Δ.Ε. Ένωσης Ελλήνων Χημικών – Περιφερειακό Τμήμα Κρήτης



