



ΠΡΟΣ: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ

29/5/2024

ΣΧΟΛΗ: ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

## ΠΡΟΤΑΣΗ

### ΓΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Του Ευάγγελου Σκοτάδη

στο γνωστικό αντικείμενο «Ανίχνευση παθογόνων μικροοργανισμών και περιβαλλοντικών ρυπαντών, μέσω βιοαισθητήρων & χημικών αισθητήρων προηγμένων υλικών»

Προτεινόμενος επιβλέπων Μεταδιδακτορικής Έρευνας: Καθηγητής Ιωάννης Καλατζής

### ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

#### 1. Αντικείμενο-Ερευνητικοί στόχοι

Τα αποτελέσματα της έντονης εκβιομηχάνισης κατά την διάρκεια των τελευταίων 2 αιώνων είναι σήμερα πλέον ορατά μέσω της συσσώρευσης στο περιβάλλον διάφορων μη βιοδιασπώμενων ρυπαντών όπως οι οργανοφωσφορικές χημικές ενώσεις (κοινές στα φυτοφάρμακα και τα εντομοκτόνα), τα ιόντα βαρέων μετάλλων ( $Hg^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Pb^{2+}$ , κ.α.), τα τοξικά αέρια ( $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $HCl$ , κ.α.), αλλά και τα απόβλητα ύδατα οικιστικών και βιομηχανικών περιοχών (φαινόλη,  $H_2O_2$ ). Ειδικά η παρουσία ιόντων βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον αποτελεί σημαντικότατο παράγοντα επικινδυνότητας μια και τέτοια ιόντα τείνουν να συσσωρεύονται κατά μήκος της τροφικής αλυσίδας, προκαλώντας χρονίζουσες ασθένειες ακόμα και σε μικρές συγκεντρώσεις [1]. Επιπρόσθετα, ρυπαντές όπως τα φυτοφάρμακα διαταράσσουν τα οικοσυστήματα και αυξάνουν την νοσηρότητα λόγω της εντατικοποίησης της αγροτικής παραγωγής και της αλόγιστης τους χρήσης αλλά και λόγω της μη ορθής διαχείρισης ενεργειακών και φυσικών πόρων, της ανεπάρκειας κατάρτισης των αγροτών αλλά και της ανυπαρξίας ειδικού κέντρου συλλογής και ανακύκλωσης των δεκάδων εκατομμυρίων κενών φιαλών συσκευασίας φυτοφαρμάκων [2]. Από την άλλη μια από τις μεγαλύτερες απειλές για την ασφάλεια και ποιότητα των τροφίμων είναι οι μυκοτοξίνες, που αποτελούν τοξικούς και καρκινογόνους μεταβολίτες χαμηλού μοριακού βάρους που παράγονται από ορισμένα είδη μυκήτων [3]. Η προσβολή από μύκητες καθώς και η παρουσία σχετιζόμενων τοξινών είναι ένα εκτεταμένο πρόβλημα κατά την αποθήκευση γεωργικών προϊόντων και τροφίμων, το οποίο προκαλεί σημαντικές απώλειες και ποιοτική υποβάθμιση των προϊόντων. Υπολογίζεται ότι ποσοστό 25% των καλλιεργειών μολύνονται με μυκοτοξίνες σε παγκόσμιο επίπεδο σε ετήσια βάση.

### Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου  
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό  
στο docs.gov.gr/validate





Συμβατικά η ανίχνευση, ταυτοποίηση καθώς η ποσοτικοποίηση όλων των παραπάνω περιβαλλοντικών ρυπαντών γίνεται συνήθως μέσω τεχνικών όπως η χρωματογραφία αερίων (GC), η υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC), η ηλεκτροφόρηση και η αέρια χρωματογραφία/φασματομετρία μάζας (GC/MS) [4]. Οι τεχνικές αυτές παρά την υψηλή τους ακρίβεια και αξιοπιστία έχουν ορισμένα μειονεκτήματα δεδομένου ότι είναι δαπανηρές, χρονοβόρες, απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό για την εφαρμογή τους, καθώς επίσης και προετοιμασία του δείγματος πριν την ανάλυση [4]. Επιπλέον, δεν μπορούν να εφαρμοστούν για έλεγχο σε πραγματικό χρόνο (online) και για την έγκαιρη ανίχνευση των ρυπαντών. Συνεπώς σήμερα υπάρχει μεγάλη ανάγκη για εναλλακτικές μεθόδους και τεχνικές για την ανίχνευση φυτοφαρμάκων και βαρέων μετάλλων καθώς και για τον προσυμπωματικό έλεγχο των σιτηρών και την έγκυρη και έγκαιρη προειδοποίηση των άμεσα ενδιαφερόμενων. Οι τεχνικές αυτές θα πρέπει ιδανικά να μπορούν να ανιχνεύσουν τους ρυπαντές σε πραγματικό χρόνο και στο πεδίο ενώ θα μπορούσαν να συνδυαστούν με τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) για τον έλεγχο/διαχείριση τους και την άμεση προειδοποίηση σε περίπτωση μόλυνσης. Σε αυτή την ανάγκη μπορεί να απαντήσει η τεχνολογία των μικροαισθητήρων, οι οποίοι όταν συνδυάζονται με καινοτόμα νανοϋλικά αποκτούν σημαντικά συγκριτικά πλεονεκτήματα, όπως αυξημένη ευαισθησία, χαμηλή κατανάλωση, μικρό αποτύπωμα και καταλληλότητα για αυτοματοποιημένο και απομακρυσμένο έλεγχο καθώς και επιτόπια ανίχνευση.

**Βασικός στόχος της παρούσας πρότασης μεταδιδακτορικής έρευνας είναι η ανάπτυξη αισθητήρων βασισμένων σε προηγμένα υλικά για την ανίχνευση, ταυτοποίηση και ποσοτικοποίηση βαρέων μετάλλων και φυτοφαρμάκων σε υδατικά διαλύματα, καθώς και μυκήτων/μυκοτοξινών σε καρπούς.** Η ανίχνευση των βαρέων μετάλλων/φυτοφαρμάκων προτείνεται να πραγματοποιηθεί μέσω ηλεκτροχημικών βιοαισθητήρων που συνδυάζουν υμένια μεταλλικών νανοσωματιδίων με βιομόρια (DNAzymes & απταμερή). Η ανίχνευση των μυκοτοξινών σε καρπούς θα επιτελείται μέσω συστοιχιών χημικών αισθητήρων-αερίων (ηλεκτρονική-μύτη), οι οποίοι βασίζονται σε αυτό-οργανωμένα υμένια νανοσωματιδίων, τροποποιημένα με λεπτά υμένια πολυμερικών υλικών. Τεχνολογίες αισθητήρων σαν τις προτεινόμενες στα πλαίσια της παρούσας πρότασης μπορούν να ενσωματωθούν με ευκολία σε αυτόνομα, απομακρυσμένα και αυτοματοποιημένα συστήματα επιτόπιας επιτήρησης των παραπάνω ρυπαντών. Ειδικότερα οι ηλεκτροχημικοί βιοαισθητήρες μπορούν να ενσωματωθούν με ευκολία σε αυτόνομα μικροροβωτικά συστήματα για την πραγματοποίηση «φορητών βιοχημικών εργαστηρίων (Lab on Chip, LoC)», λόγω του μικρού αποτύπωμά τους, του χαμηλού τους κόστους και της χαμηλής τους ενεργειακής κατανάλωσης.

Οι ερευνητικοί στόχοι της πρότασης εξειδικεύονται παρακάτω:

- Ανάπτυξη ηλεκτροχημικών βιο-αισθητήρων νανο-υλικών/βιομορίων, για την αξιόπιστη, υψηλής ευαισθησίας, επιλεκτική και ταυτόχρονη ανίχνευση φυτοπροστατευτικών ουσιών και ιόντων βαρέων μετάλλων.
- Ανάπτυξη «ηλεκτρονικής-μύτης» (συστοιχίας χημικών αισθητήρων-αερίων) βασισμένης σε προηγμένα υλικά, κατάλληλης για τον προσδιορισμό πτητικών οργανικών ενώσεων (volatile organic compounds, VOCs) παραγόμενων από καρπούς επιμολυσμένους με μύκητες/μυκοτοξίνες.
- Ανάπτυξη κατάλληλης μεθοδολογίας για την ανάλυση των δεδομένων των συστοιχιών χημικών-αισθητήρων, για την ανίχνευση των περιβαλλοντικών ρυπαντών.

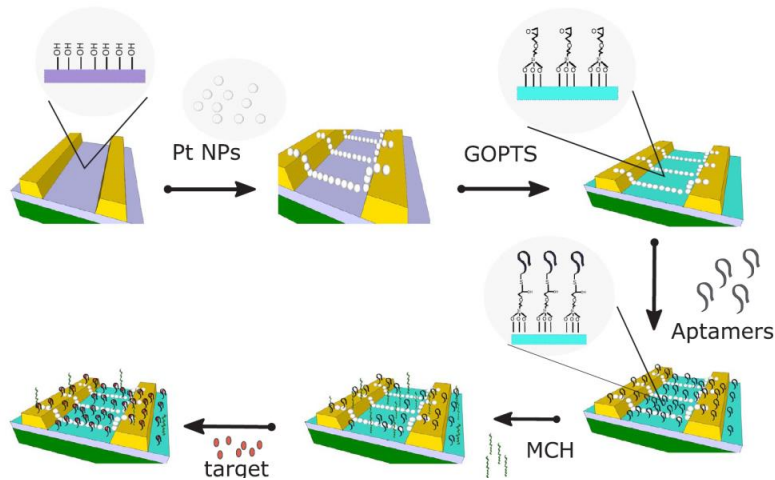
## 2. Μεθοδολογία

Για την επιτυχή υλοποίηση της πρότασης προτείνεται η παράλληλη ανάπτυξη και χαρακτηρισμός τόσο των ηλεκτροχημικών βιοαισθητήρων όσο και της συστοιχίας χημικών-αισθητήρων (ηλεκτρονική-μύτη):



**Ενότητα Εργασίας 1 (EE1): Ανάπτυξη & χαρακτηρισμός ηλεκτροχημικών βιοαισθητήρων για την ανίχνευση βαρέων μετάλλων/φυτοφαρμάκων (M1-M21):** Η ανάπτυξη ηλεκτροχημικών αισθητήρων μέσω του συνδυασμού αγώγιμων δικτύων μεταλλικών νανοσωματιδίων και βιομορίων (DNAzymes & απταμερή), παρουσιάζει μοναδικά πλεονεκτήματα. Η χρήση βιομορίων προσδίδει γρήγορη και επιλεκτική ανίχνευση, σταθερότητα, μεγάλη διάρκεια ζωής αλλά και την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης του αισθητήρα [5,6]. Ο συνδυασμός των βιομορίων με τα νανοσωματίδια έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της ευαισθησίας της διάταξης, επιτρέποντας την ανίχνευση βαρέων μετάλλων και φυτοφαρμάκων σε συγκεντρώσεις κατώτερες των ανώτατων επιτρεπτών ορίων της νομοθεσίας [7,8]. Η κατασκευή των αισθητήρων θα γίνεται μέσω της ελεγχόμενης εναπόθεσης μεταλλικών ΝΣ (μέσω της τεχνικής της ιοντοβολής) επί ενδοδιαπλεκόμενων ηλεκτροδίων τα οποία έχουν κατασκευαστεί σε υποστρώματα πυριτίου ή σε εύκαμπτα υποστρώματα. Στην συνέχεια το στρώμα των μεταλλικών ΝΣ θα τροποποιηθεί μέσω της ακινητοποίησης/πρόδεσης των βιομορίων. Η επιλεκτική αναγνώριση των βαρέων μετάλλων από τα DNAzymes και των φυτοφαρμάκων από τα απταμερή, οδηγεί εν τέλει στην τροποποίηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της διάταξης (αντίσταση και εμπέδηση).

Παραδοτέο 1 (Π1): 1 επιστημονική δημοσίευση σε περιοδικό ή συνέδριο.

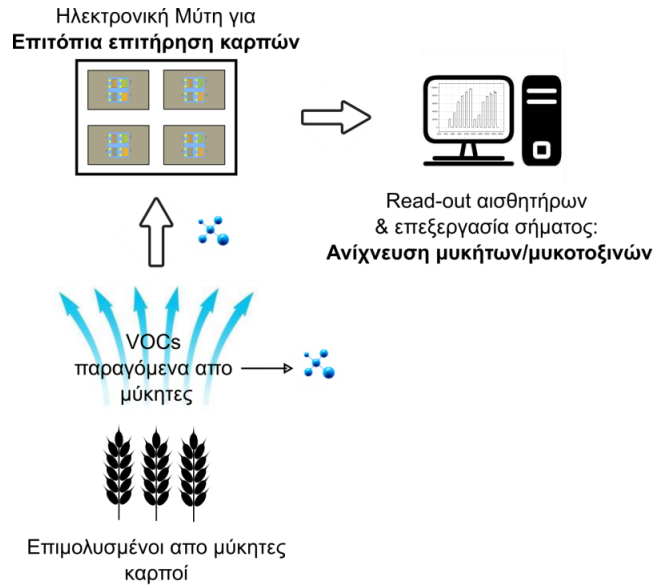


Εικόνα 1. Μεθοδολογία ανάπτυξης ηλεκτροχημικών βιοαισθητήρων νανοσωματιδίων-απταμερών για την ανίχνευση φυτοπροστατευτικών ουσιών.

**Ενότητα εργασίας 2 (EE2): Ανάπτυξη & χαρακτηρισμός χημικών-αισθητήρων αερίων για την ανίχνευση μυκήτων/μυκοτοξινών (M1-M21):** Επιφάνειες πυριτίου με δίκτυα μεταλλικών νανοσωματιδίων (παραγόμενα μέσω ιοντοβολής) θα τροποποιηθούν με εμπορικά διαθέσιμα πολυμερικά υμένα (πάχους 500 nm) τα οποία θα εναποτεθούν μέσω εκτύπωσης ψεκασμού μελάνης (ink-jet printing) ή μέσω spin-coating. Τα πολυμερικά υμένα τα οποία επικαλύπτουν το στρώμα των ΝΣ, αποτελούν το τμήμα της διάταξης το οποίο αλληλεπιδρά με τα διάφορα VOCs που βρίσκονται στο περιβάλλον του αισθητήρα, προσροφώντας τα περισσότερα από αυτά (χαμηλή επιλεκτικότητα). Αξίζει να σημειωθεί πως η διεθνής επιστημονική βιβλιογραφία έχει συνδέσει την μεταβολική δραστηριότητα των μυκήτων με την παραγωγή συγκεκριμένων πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) [9].

Παραδοτέο 2 (Π2): 1 επιστημονική δημοσίευση σε περιοδικό ή συνέδριο.





Εικόνα 2. Σχηματική αναπαράσταση των κρίσιμων υποσυστημάτων τα οποία απαιτούνται για την ανίχνευση μυκήτων/μυκοτοξινών μέσω συστοιχιών χημικών-αισθητήρων.

**Ενότητα Εργασίας 3 (ΕΕ3): Επεξεργασία & Ανάλυση δεδομένων αισθητήρων (M21-M24):** Κρίσιμο ζήτημα για την ταυτοποίηση των αερίων τα οποία αποτελούν ένα σύνθετο μίγμα αποτελεί η επιλεκτικότητα των αισθητήρων στα επιμέρους αέρια. Το ζήτημα αυτό αποτελεί σημαντική τεχνολογική πρόκληση μια και οι μύκητες που θα μελετηθούν στα πλαίσια της πρότασης παρουσιάζουν ένα σύνθετο «πητικό» προφίλ [9]. Η επιλεκτική ανίχνευση των σύνθετων αέριων μιγμάτων τα οποία παράγονται από τους μύκητες θα γίνει μέσω της υιοθέτησης αλγορίθμων μη επιτηρούμενης μάθησης (π.χ. τεχνικές στατιστικής επεξεργασίας σήματος συστοιχίας αισθητήρων, όπως η Ανάλυση κυρίων συνιστωσών κ.α.).

### 3. Χρονοδιάγραμμα εργασιών

Παρακάτω παρατίθεται το ακριβές χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης των εργασιών της παρούσας πρότασης, όπως αυτές εξειδικεύτηκαν στα πλαίσια της παραγράφου 2 «Μεθοδολογία»:

Χρονική Διάρκεια μεταδιδακτορικής έρευνας																								
Ενότητες Εργασίας	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1																								
2																								

### Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου  
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό  
στο docs.gov.gr/validate







[8] E. Skotadis, E. Aslanidis, et al., Hybrid Nanoparticle/DNAzyme Electrochemical Biosensor for the Detection of Divalent Heavy Metal Ions and  $\text{Cr}^{3+}$ , *Sensors* 23 (2023) 7818.

[9] L.A. Hejri, P. Rajaram, J. O'Leary et al., Identification of volatile organic compounds (VOCs) by SPME-GC-MS to detect *Aspergillus flavus* infection in pistachios, *Food control* 154 (2023) 110033

Καθην. Ιωάννης Καλατζής

Ο αιτών,

Δρ. Ευάγγελος Σκοτάδης

#### Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου  
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό  
στο [docs.gov.gr/validate](https://docs.gov.gr/validate)



Κωδικός εγγράφου: XR1D-x90UJHEW3X7bw171Q

: 6/6

Υπογραφή:  
ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΣΚΟΤΑΔΗΣ  
Πατρώνυμο: ΝΙΚΟΛΑΟΣ  
ΑΦΜ: 112893977  
Ημ. Υπογραφής: 05/06/2024 15:58:43