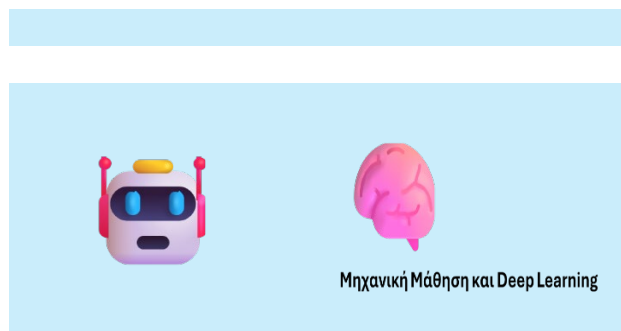




ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2026

Εικόνα & Υπερφασματική Επεξεργασία

Νοθεία / Παραποίηση τροφίμων

Ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης στην ανίχνευση Νοθείας στα Τρόφιμα

Τεχνικές ανίχνευσης νοθείας και ο ρόλος των εργαλείων της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στον έλεγχο της ταυτότητας τροφίμων

Περίπτωση μελέτης-“Εικονικό” παράδειγμα κατανόησης : Προϊόντα επεξεργασίας κρέατος

* Η εργασία είναι ανηρτημένη στην Ιστοσελίδα : fsp-tsoukalas.com

Συντάκτης : Βασίλειος Τσουκαλάς – δρ. Χημικός Τροφίμων :

Mobile : +30 6944861418 email : qualitec46@gmail.com

Αποποίηση ευθύνης : Η εργασία αυτή δεν δεσμεύει τον συντάκτη της για το περιεχόμενο των βιβλιογραφικών πηγών και δεν παρέχει δεσμευτικές συστάσεις εφα

Περιεχόμενα

1. Περίληψη	σελ. 2
2. Εισαγωγή	σελ. 3
3. Τεχνικές ανίχνευσης νοθείας και ο ρόλος των εργαλείων της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στον έλεγχο της ταυτότητας τροφίμων.....	σελ. 7
4. Τεχνητή νοημοσύνη - Έλεγχος ταυτότητας προϊόντων κρέατος- Πλεονεκτήματα.....	σελ. 14
5. Προϊόντα επεξεργασίας κρέατος - Υποκατάσταση κύριων συστατικών.....	σελ. 15
5.1 " Εικονικό " παράδειγμα κατανόησης , φασματικών δεδομένων	
5.1.1 Επεξήγηση διαδικασίας – Σχόλια αποτελεσμάτων	
5.2 Ανίχνευση Νοθείας (MDM) – Παράδειγμα “εικονικών “ Φασματικών δεδομένων (Εικόνες 1 ,2) –	
Επίδειξη παραδείγματος.	
6. Ανίχνευση Νοθείας (MDM) – Παράδειγμα “εικονικών “ Φασματικών δεδομένων.....	σελ.19
7. Επιστημονική τεκμηρίωση	σελ. 24

1. Περίληψη

Η Νοθεία των τροφίμων στα τρόφιμα που περιλαμβάνει και την Νοθεία -πουλερικών (MDM) συνδέεται με ρυθμιστικά (απάτης – αισχροκέρδεια) καθώς και με οικονομικά θέματα, που άπτονται της Υγείας και των συμφερόντων του καταναλωτή .

Η εργασία αυτή εξετάζει διάφορα εργαλεία/τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης και τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούνται μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης για τον εντοπισμό νοθείας και παραποίησης / γνησιότητας τροφίμων με τη βοήθεια διαφόρων μεθόδων αναλυτικής και δεδομένων .

Η βιβλιογραφική **ανασκόπηση** της καλύπτει τα πλεονεκτήματα της χρήσης μοντέλων μηχανικής μάθησης και τον τρόπο με τον οποίο διαφορετικές μεθοδολογίες τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να βελτιώσουν τον εντοπισμό νοθείας σε τρόφιμα, ειδικά όσον αφορά στην αυθεντικότητα της σύνθεσης και την επισημάνση.

Ειδικότερα υπεισέρχεται στο πώς οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης αναλύουν δεδομένα για να εντοπίσουν τη νοθεία στα τρόφιμα , με βάση μια περίπτωση μελέτης με ένα θεωρητικό παράδειγμα εφαρμογής δοκιμών γνησιότητας ενός προϊόντος. Ακόμη, υπεισέρχεται σε τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης που εφαρμόζονται σε συνδυαστικά με δεδομένα αλληλουχίας DNA για την επαλήθευση της γνησιότητας ενός και τον εντοπισμό υποκατάστασης αυθεντικού είδους (κρέας) σε επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος, θερμικής επεξεργασίας.

Το MDM κοτόπουλου διαφέρει από τους μυς της γαλοπούλας ως προς την περιεκτικότητα σε κολλαγόνο, τα επίπεδα ασβεστίου, την οξείδωση των λιπιδίων και τη μικροδομή. Συγκεκριμένα , το παράδειγμα πραγματεύεται την ταχεία ταυτοποίηση και ανίχνευση **μηχανικά αποστεωμένου κρέατος κοτόπουλου**

(MDM) σε θερμικά επεξεργασμένο **κρέας (χοίρου)** σε προϊόν (Λουκ. τ. Φρανκφούρτης) με την συνδυαστική χρήση των εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης.

Πηγές πληροφόρησης υπήρξαν ειδικές επιστημονικές αναφορές που εστιάζουν στη νοθεία και την απάτη στον τομέα των τροφίμων, συμπεριλαμβανομένης της έρευνας σχετικά με τις τεχνικές ανίχνευσης και τον ρόλο της τεχνητής νοημοσύνης .

2. Εισαγωγή

Καθώς η ζήτηση για ασφαλή και αυθεντικά τρόφιμα εντείνεται , οι προσεγγίσεις, που βασίζονται στην **τεχνητή νοημοσύνη**, παρουσιάζουν αποτελεσματικές λύσεις για τη βελτίωση των προτύπων ασφάλειας τροφίμων σε ολόκληρο τον κλάδο των τροφίμων αλλά και αντιμετώπισης της νοθείας των τροφίμων.

Ένα από τα πιο εμπορεύσιμα προϊόντα παγκοσμίως είναι τα τρόφιμα και η αυθεντικότητα αυτών έχει αναδειχθεί ως κρίσιμο θέμα στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων . Η **νοθεία** αλλά και η **εσφαλμένη επισήμανση** των τροφίμων μπορούν να επηρεάσουν σοβαρά την εμπιστοσύνη και την υγεία των καταναλωτών. Η νοθεία και η ασφάλεια των τροφίμων είναι ένα όλο και πιο σημαντικό ζήτημα προς αντιμετώπιση.

Η Νοθεία των τροφίμων σημαίνει ότι η περιγραφή της προέλευσης των τροφίμων, η σύνθεσή τους και ο τρόπος παραγωγής ή/και παρασκευής τους πρέπει να είναι αληθή στοιχεία

Πέραν αυτού, όμως, η νοθεία/παραποίηση/απομίμηση των τροφίμων υπονομεύει τις νόμιμες επιχειρήσεις και την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων. Οι έντιμες επιχειρήσεις τροφίμων που τηρούν ενδέχεται να βρεθούν σε ανταγωνιστικό μειονέκτημα έναντι νοθευμένων προϊόντων.

Η **ΕΕ** είναι ιδιαίτερα ευάλωτη στον τομέα των τροφίμων, δεδομένου ότι είναι, εξ ορισμού, μια εξαιρετικά ολοκληρωμένη αγορά, όπου τα προϊόντα κυκλοφορούν ελεύθερα διασυνοριακά μέσω πολύπλοκων αλυσίδων εφοδιασμού. Ως εκ τούτου , η **νοθεία** καθώς και η **παραποίηση** των τροφίμων αποτελούν προκλήσεις και εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με κίνδυνο εκτεταμένων συνεπειών για την εμπιστοσύνη των καταναλωτών, τη δημόσια υγεία και την ακεραιότητα των τομέων της τεχνολογίας τροφίμων.

“ Η νοθεία με τα συστατικά των τροφίμων και η νοθεία με οικονομικά κίνητρα είναι αναδυόμενοι κίνδυνοι, αλλά επί του παρόντος δεν υπάρχει ολοκληρωμένη συλλογή πληροφοριών σχετικά με γνωστά προβληματικά συστατικά και μεθόδους ανίχνευσης”.

Η ανίχνευση της νοθείας του κρέατος με τη χρήση γρήγορων, μη επεμβατικών μεθόδων κατά την παραγωγή, την επεξεργασία, τη διανομή, την κατανάλωση και τη διάθεση των τροφίμων είναι ιδιαίτερης σημασίας για την Αναλυτική αλλά και για την αποκάλυψη της νοθείας.

Ένας «θερμικός χάρτης» (heat map) των παγκόσμιων περιπτώσεων απάτης τροφίμων από το 2020 έως το 2024, ταξινομημένος ανά κατηγορία απάτης και ομάδας τροφίμων, παρουσιάζεται : (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224425004492#bib21>)

Εντοπισθείσες περιπτώσεις

Νοθεία (υποκατάσταση συστατικών) Κρέας πουλερικών και προϊόντα κρέατος πουλερικών λουκάνικα μηχανικώς διαχωρισμένο κρέας - **Σλοβενία Γερμανία**

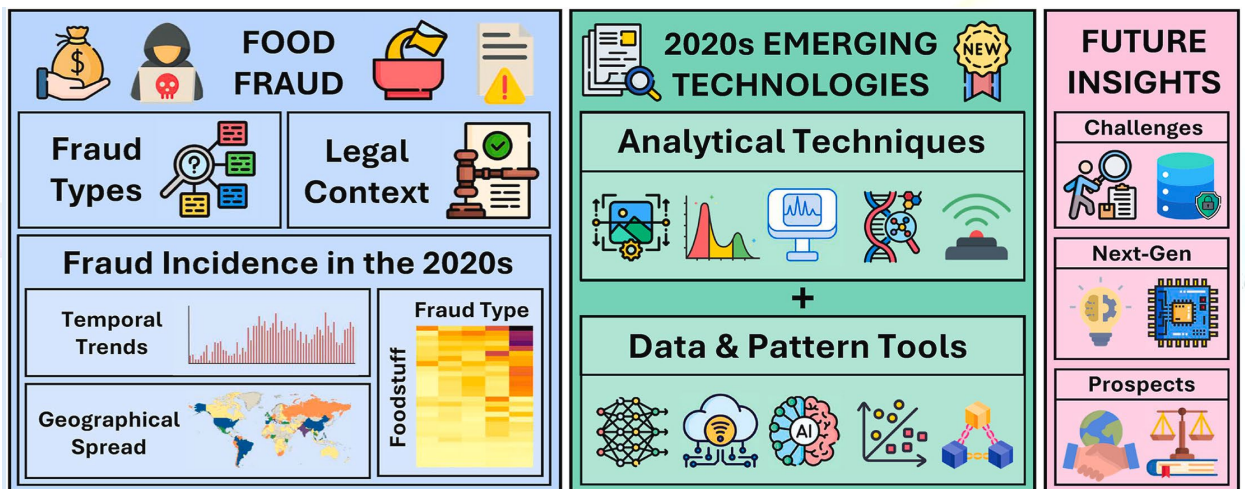
Κρέας και προϊόντα κρέατος (εκτός από πουλερικά) **κρέας κεμπάπ κρέας γαλοπούλας**, λουκάνικα κρέας κοτόπουλου αντί χοιρινού κρέατος **Πολωνία Γερμανία.**

Κρέας και προϊόντα κρέατος (εκτός από πουλερικά) κρέας κεμπάπ κρέας γαλοπούλας, λουκάνικα κρέας κοτόπουλου αντί χοιρινού κρέατος **Πολωνία Γερμανία.**

Οι χώρες με τα περισσότερα αναφερόμενα κρούσματα κατά την περίοδο παρατήρησης στην Ευρώπη ήταν οι **Ιταλία, Ισπανία, Γαλλία και Τουρκία.**

Η Γενική Διεύθυνση Υγείας και Ασφάλειας των Τροφίμων της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (ΕΕ) έχει θεσπίσει λεπτομερές πλαίσιο για την ταξινόμηση γενικότερα της απάτης και ειδικά για την νοθεία των τροφίμων, το οποίο την ομαδοποιεί σε πέντε βασικές κατηγορίες , που αποτελούν και θέματα τάσεων απάτης στον τομέα των τροφίμων την τελευταία δεκαετία.

- **Νοθεία** (π.χ.: αραίωση, υποκατάσταση, παράνομες προσθήκες κ.λπ.) αλλά και
- **Παραχάραξη** (π.χ. γεωγραφικοί ισχυρισμοί, μη εξουσιοδοτημένη χρήση σφραγίδων κ.λπ.)
- **Εσφαλμένη περιγραφή**, συμπεριλαμβανομένης της εσφαλμένης επισήμανσης και της εσφαλμένης επωνυμίας (π.χ. πλαστές ημερομηνίες λήξης, γεωγραφικοί ισχυρισμοί, λανθασμένη διατροφική επισήμανση, λάθος βάρος ή όγκος)
- **Πλαστογράφηση εγγράφων** (π.χ. πλαστά έγγραφα και πιστοποιητικά ανάλυσης)
- **Δραστηριότητες γκρίζας αγοράς** (λαθρεμπόριο, παράνομη σφαγή κ.λπ.)



Ειδικότερα , η **Νοθεία** των τροφίμων αφορά σε κάθε σκόπιμη πράξη αντικατάστασης, εσφαλμένης επισήμανσης ή τροποποίησης προϊόντων διατροφής με σκοπό το οικονομικό όφελος.

Η νοθεία στα **προϊόντα επεξεργασίας κρέατος** συνήθως περιλαμβάνει υποκατάσταση κύριων συστατικών, όπου “ακριβή πρώτη ύλη - κρέας” είναι δυνατό να αντικαθίστανται με φθηνότερες εναλλακτικές λύσεις ή και με ,κατά τα άλλα, επιτρεπόμενα συστατικά του (πχ. MDM, δέρμα) αλλά και εντόσθια ή/ και την προσθήκη μη επιτρεπόμενων συστατικών. Κάτι τέτοιο ,όχι μόνο θέτει σε κίνδυνο την αυθεντικότητα ενός προϊόντος, αλλά εγείρει επίσης ανησυχίες για την υγεία, ειδικά για καταναλωτές με αλλεργίες ή θρησκευτικούς περιορισμούς (Murgia et al., 2018, Mistry & Mistry, 2019). Προσθήκη συστατικών σε βάρος της δηλούμενης ποσότητας κρέατος για

τη μείωση κυρίως του κόστους θεωρείται **αισχροκέρδια** σε βάρος του καταναλωτή (Mistry & Mistry, 2019).

Συνοπτικά :

Οι διαθέσιμες αναλυτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν **Φασματοσκοπία** (συλλαμβάνει αλλαγές πρωτεϊνών και λιπιδίων, διαφοροποιεί το κολλαγόνο/ασβέστιο (το **MDM κοτόπουλου** περιέχει αυξημένο κολλαγόνο και ασβέστιο), **HSI** (Υπερφασματική απεικόνιση) καταγράφει χωροφασματική μικροδομή), **Πρωτεομική** (ανιχνεύει θερμοσταθερά πεπτιδία) και **Ανάλυση προφίλ θραυσμάτων DNA** (είδη πεπτιδίων) .

- Οι παραπάνω μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο Νοθείας /ταυτότητας διαφόρων ειδών τροφίμων .
- Η τεχνητή νοημοσύνη ενισχύει την δημιουργία μοτίβων και συμβάλλει στην ταξινόμηση θερμικά επεξεργασμένων προϊόντων κρέατος. Η **ροή εργασίας της τεχνητής νοημοσύνης (AI)** περιλαμβάνει προεπεξεργασία, εξαγωγή χαρακτηριστικών, εκπαίδευση μοντέλων και μοντελοποίηση . Το πλαίσιο μοντέλων AI περιλαμβάνει **SVM, PLS-DA, Random Forest, CNN/3D-CNN, XGBoost και ANN.**

Στις μελλοντικές εξελίξεις θα συμπεριλαμβάνονται **ενσωμάτωση εξειδικευμένων αισθητήρων, φορητών συσκευών τεχνητής νοημοσύνης και επαλήθευση cloud** καθώς και η **επέκταση σε πολλά είδη κρέατος.**

Τα θερμικά επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος , όπως πχ. τα έτοιμα προς κατανάλωση προϊόντα θερμικής επεξεργασίας (πχ. λουκάνικα τ. Φρανκφούρτης , φιλέτο γαλοπούλας ή και άλλα προϊόντα) είναι ιδιαίτερα ευάλωτα σε τέτοιες πρακτικές, λόγω των πολύπλοκων μεθόδων παραγωγής τους, που μπορούν να καλύψουν την παρουσία/προσθήκη μη προσδιορισίμων ποσοτικά ,εύκολα, υλών υποδεέστερης ποιότητας του βασικού συστατικού (κρέας). Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η δυσκολία/αδυναμία αναλυτικής επαλήθευσης της ποσότητας του δηλούμενου ποσοστού προσθέμενου/-ων συστατικού,-ών κρέατος . Η ανίχνευση της παρουσίας / προσθήκης τέτοιων συστατικών αποτελεί μέχρι σήμερα πρόκληση για την **Αναλυτική** με αποτέλεσμα να υπάρχει “**εκμεταλλεύσιμος χώρος**” για παραπλάνηση ή /και νοθεία , στην περίπτωση που η χρήση τέτοιων συστατικών δεν δηλώνεται στη συσκευασία ή που δηλώνεται (εσκεμμένα ή μη) , όπως οφείλει από κανονιστική άποψη (νομοθεσία τροφίμων) .

Η περίπτωση του **μηχανικά διαχωρισμένου κρέατος (MDM)** αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα (βλ. σχετ. παράδειγμα κατανόησης).

3. Τεχνικές ανίχνευσης νοθείας και ο ρόλος των εργαλείων της τεχνητής νοημοσύνης (AI) στον έλεγχο της ταυτότητας τροφίμων

Αναλυτική προσέγγιση :

Οι κλασσικές μέθοδοι για την ανίχνευση/εντοπισμό της νοθείας προϊόντων κρέατος περιλαμβάνουν τεχνικές που βασίζονται στον **Χημικό έλεγχο** , την **Μακροσκοπική / Διοικητική επιθεώρηση (έλεγχο)** αλλά και **ανάλυση DNA** (δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ) , όπως η **PCR** αλλά και η **Φασματοσκοπική ανάλυση**. Ωστόσο, οι παραπάνω μέθοδοι προσκρούουν από άποψη Αναλυτικής, σε περιορισμούς όσον αφορά την **ταχύτητα**, την **ακρίβεια** και τη **σχέση κόστους εφαρμογής -αποτελεσματικότητας**.

Παράδειγμα : οι τεχνικές που πχ. βασίζονται στο DNA, αν και είναι εξαιρετικά συγκεκριμένες και έχουν συγκεκριμένη στόχευση απαιτούν εξειδικευμένη - απαιτητική εργαστηριακή υποδομή και χρονοβόρες διαδικασίες, καθιστώντας δύσκολη την ταχεία έκδοση αποτελεσμάτων (Motawea et al., 2020), σε περιβάλλοντα παραγωγής μεγάλης κλίμακας.

Εικόνα & Υπερφασματική Επεξεργασία

Αυτές οι μέθοδοι μπορεί να μην είναι πρακτικές για τακτικό, προγραμματισμένο ποιοτικό έλεγχο σε περιβάλλοντα παραγωγής μεγάλης κλίμακας.

Η **τεχνητή νοημοσύνη** προσφέρει , στην προκειμένη περίπτωση, μια σύγχρονη λύση στις προκλήσεις του ελέγχου ταυτότητας προϊόντων κρέατος. Αξιοποιώντας **αλγόριθμους μηχανικής μάθησης** και **προσεγγίσεις**, που βασίζονται σε **μεγάλα δεδομένα (Big Data)** , η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να αναλύσει πολύπλοκα σύνολα δεδομένων γρήγορα και με ακρίβεια, **εντοπίζοντας μοτίβα που υποδεικνύουν νοθεία ή/και παραποίηση τροφίμων** .

Ωστόσο, η πολυπλοκότητα και ο όγκος των παραγόμενων δεδομένων απαιτούν και πιο εξελιγμένα εργαλεία επεξεργασίας δεδομένων.

Οι **αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης** έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικοί στην **ανάλυση φασματικών και μοριακών δεδομένων** για γρήγορη, ακριβή ανίχνευση νοθείας (Cama et al., 2020; Motawea et al. 2020).

3.1 Εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης που βασίζονται στο DNA: Ο συνδυασμός δακτυλικών αποτυπωμάτων **DNA (fingerprinting)** με **αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης** επιτρέπει την ακριβή αναγνώριση του είδους παραποίησης / νοθείας σε επεξεργασμένα προϊόντα, αποκαλύπτοντας περιπτώσεις υποκατάστασης ή/και αραίωσης (Motawea et al., 2020).

Πρόσφατες ανασκοπήσεις δείχνουν ότι προηγμένες αναλυτικές τεχνικές, σε συνδυασμό με την **τεχνητή νοημοσύνη (AI)**, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για τον αποτελεσματικό εντοπισμό τέτοιων **δόλιων πρακτικών**. Η στροφή προς μια **ολιστική προσέγγιση** και η **ενσωμάτωση** / συνεργασία τεχνικών **Τεχνητής νοημοσύνης**, **Μηχανικής Μάθησης (ML)**, η υιοθέτηση τεχνολογιών όπως το **Blockchain**, το **IoT** και τα **Big Data** καταδεικνύουν πολλά υποσχόμενες λύσεις για τη διασφάλιση της αυθεντικότητας και της ασφάλειας των τροφίμων.

Σε συνδυασμό με “κλασικές” αναλυτικές μεθόδους, όπως την **Φασματοσκοπία**, η **ανάλυση DNA** αλλά και άλλων τεχνικών ενισχύει σημαντικά την ακρίβεια και ταχύτητα έκδοσης αποτελέσματος των συστημάτων ανίχνευσης νοθείας (Marín et al., 2025; Mafra & Cichna-Markl, 2025; Naeem, 2024)". Ωστόσο, κλασικές μέθοδοι **μόνο** για τον εντοπισμό νοθείας στα τρόφιμα, όπως η **μακροσκοπική επιθεώρηση/έλεγχος**, ο **χημικός έλεγχος** και η **ανάλυση DNA**, ενέχουν περιορισμούς όσον αφορά την ταχύτητα, την ακρίβεια και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας. Επιπλέον, αυτές οι μέθοδοι μπορεί να μην είναι πρακτικές για τον τακτικό ποιοτικό έλεγχο σε περιβάλλοντα παραγωγής μεγάλης κλίμακας.

Παράδειγμα: οι τεχνικές που βασίζονται στο **DNA**, αν και είναι εξαιρετικά ειδικευμένες, απαιτούν συχνά εκτεταμένη εργαστηριακή υποδομή και χρονοβόρες διαδικασίες, καθιστώντας τα άμεσα αποτελέσματα δύσκολα (Motawea et al., 2020).

3.1.1 Αι, Αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης:

- **Εποπτευόμενη μάθηση:** περιλαμβάνονται **μοντέλα εκπαίδευσης** σε επισημασμένα σύνολα δεδομένων, όπου τα αποτελέσματα είναι γνωστά. Οι **κοινοί αλγόριθμοι** περιλαμβάνουν:
 - **Support Vector Machines (SVM):** Αποτελεσματικές για εργασίες ταξινόμησης, και μπορούν να βοηθήσουν στη διάκριση μεταξύ διαφορετικών ειδών ή τύπων προϊόντων (π.χ. αυθεντική γαλοπούλα έναντι νοθευμένου κρέατος) βρίσκοντας βέλτιστα υπερεπίπεδα σε πολυδιάστατο χώρο.
 - **Random Forests:** Αυτή η μέθοδος μπορεί να διαχειριστεί **μεγάλα σύνολα δεδομένων** με πολλές δυνατότητες και είναι ανθεκτική έναντι υπερβολικής προσαρμογής. Συνδυάζει **πολλαπλά δέντρα αποφάσεων** για τη βελτίωση της ακρίβειας πρόβλεψης για τον εντοπισμό νοθείας τροφίμων.
 - **(CNN)-Νευρωνικά δίκτυα:** Οι **προσεγγίσεις βαθιάς μάθησης**, ιδιαίτερα τα **συνελικτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN)**, μπορούν να αναλύσουν αποτελεσματικά δεδομένα εικόνας. Αυτά τα δίκτυα **μπορούν να μάθουν πολύπλοκα μοτίβα από φασματικά δεδομένα ή οπτικά/εικονικά χαρακτηριστικά προϊόντων** -(τροφίμων) .

Μάθηση χωρίς επίβλεψη:

- **Αλγόριθμοι ομαδοποίησης (Αλγόριθμοι ομαδοποίησης):** Τεχνικές όπως η ομαδοποίηση **K-means** και η ιεραρχική ομαδοποίηση μπορούν να εντοπίσουν φυσικές ομαδοποιήσεις μέσα στα δεδομένα.

Παράδειγμα : η ομαδοποίηση προϊόντων κρέατος με βάση τα προφίλ σύνθεσής τους μπορεί να αποκαλύψει ανωμαλίες που υποδηλώνουν απάτη/νοθεία .

- **Ανάλυση κύριων συνιστωσών (Ανάλυση κύριων συνιστωσών -PCA):** Η Ανάλυση κύριων συνιστωσών οπτικοποιεί μεγάλα **δεδομένα (Big Data)**, **εντοπίζοντας ιδιαιτερότητες , ενδεικτικές , που παραπέμπουν σε νοθεία .**

3.2 Ανάλυση δεδομένων : Φασματική Ανάλυση και Μηχανική Μάθηση-

Αυτές οι μέθοδοι παράγουν φασματικά δεδομένα, που εμφανίζουν τη χημική σύνθεση του προϊόντος (κρέατος). Όταν συνδέονται/συνεργάζονται με **αλγόριθμους μηχανικής μάθησης (ML)**, τα **φασματοσκοπικά δεδομένα** μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την **ανάπτυξη μοντέλων ταξινόμησης**, που διακρίνουν πχ. μεταξύ **MDM -κοτόπουλου και καθαρού κρέατος γαλοπούλας (χοίρου)** με βάση τις διακυμάνσεις στην περιεκτικότητα σε **λίπος, πρωτεΐνες και υγρασία** (Cama et al., 2020).

Εικόνα & Υπερφασματική Επεξεργασία

Ο **συνδυασμός πολλαπλών τύπων δεδομένων**, όπως **φασματικά προφίλ, χημικές συνθέσεις και φυσικά χαρακτηριστικά**, παρέχει ακόμη μια ικανοποιητική , ολοκληρωμένη προσέγγιση για τον έλεγχο ταυτότητας των προϊόντων επεξεργασίας κρέατος αλλά και αυτού καθ'αυτού του κρέατος ή μιγμάτων διαφόρων ειδών του (πχ. κιμάς) .

Γενικά, τα **εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης** μπορούν να εκτελούν **πολυμεταβλητή ανάλυση** για να ποσοτικοποιούν τις σχέσεις μεταξύ διαφορετικών χαρακτηριστικών του κρέατος, επιτρέποντας τον εντοπισμό δόλιων πρακτικών . (Leek et al., 2021).

Ειδικότερα , **φασματοσκοπικές μέθοδοι**, όπως το **εγγύς υπέρυθρο (NIR)** και η **φασματοσκοπία Raman, μετασχηματισμού Fourier (FTIR)**, δημιουργούν ποικίλα, **πολύπλοκα σύνολα δεδομένων**.

- **Μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης (Μηχανική Μάθηση)** , συμπεριλαμβανομένων των **μηχανών διανυσμάτων υποστήριξης και των νευρωνικών δικτύων (support vector machines and neural networks)** , μπορούν να **ταξινομήσουν** τα στοιχεία φασματοσκοπικών

δεδομένων, αναλύοντάς τα και εντοπίζοντας **μοτίβα νοθείας** (γνησιότητας), σε σύγκριση με **γνωστά αυθεντικά δείγματα**, προϊόντων επεξεργασίας κρέατος (Cama et al., 2020).

- **Αναγνώριση προτύπων** -(Pattern Recognition) , όπως η σύγκριση φυσικών χαρακτηριστικών (**υφή, χρώμα**) ή δεδομένων σύνθεσης (**επίπεδα λίπους, πρωτεΐνης**), μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντική μέθοδος για τον **εντοπισμό προτύπων**, που μπορούν να συμβάλλουν στην ανίχνευση συμμετοχής πχ. **MDM** σε προϊόντα επεξεργασίας κρέατος.

- **Ανάλυση εικόνας**: Οι **τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης** -Computer vision και η **Ανάλυση εικόνας** -Image analysis-, μπορούν να επεξεργαστούν και να αναλύουν εικόνες προϊόντων. Αξιοποιούν **Μοντέλα βαθιάς μάθησης** (deep learning models) για την ταξινόμηση των προϊόντων κρέατος με βάση **οπτικά χαρακτηριστικά** τους για να εντοπίσουν ενδεχόμενη νοθεία. Τα **μοντέλα βαθιάς μάθησης** μπορούν να εκπαιδευτούν , ώστε να αναγνωρίζουν πολύπλοκα μοτίβα μέσα σε μεγάλα σύνολα δεδομένων, **ανιχνεύοντας οπτικές ασυνέπειες**, όπως **χρωματικές παραλλαγές ή διαφορές υφής** , που , επίσης, μπορεί να υποδηλώνουν νοθεία.

(Li et al., 2020). Αυτά τα μοντέλα μπορούν να αναλύσουν γρήγορα **μεγάλες ποσότητες** δεδομένων από διάφορες πηγές, επιτρέποντας την **παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο** σε περιβάλλοντα παραγωγής.

- **Συγχώνευση δεδομένων**: Με τη βοήθεια της τεχνητής νοημοσύνης, ο **συνδυασμός διαφορετικών τύπων δεδομένων** (π.χ. φασματικών, χημικών, οπτικών) , μπορεί να ενισχύσει την ικανότητα των διαδικασιών επαλήθευσης. Η **αξιοποίηση πολλαπλών συνόλων δεδομένων** επιτρέπει τη **διασταυρούμενη επικύρωση** και **βελτιώνει την ακρίβεια του εντοπισμού νοθείας**.

Η **τεχνητή νοημοσύνη** μπορεί ,ακόμη , να ενσωματώσει **ιστορικά δεδομένα** για την ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων (**Predictive Analytics** -Προγνωστική αναλυτική Μοντελοποίηση) σε περιπτώσεις νοθείας τροφίμων. Τα **μοντέλα** αυτά **μπορούν να αξιολογούν την πιθανότητα**

νοθείας σε **πραγματικό χρόνο**, επιτρέποντας την **προληπτική παρακολούθηση** και τον **ποιοτικό έλεγχο** σε περιβάλλοντα επεξεργασίας κρέατος.

Εφαρμογή: Εκπαιδεύοντας μοντέλα σε ιστορικά σύνολα δεδομένων, που περιλαμβάνουν γνωστές περιπτώσεις νοθείας, **η μηχανική μάθηση μπορεί να προβλέψει και να εντοπίσει πιθανές μελλοντικές περιπτώσεις**. Αυτή η μακροπρόθεσμη προσέγγιση επιτρέπει την καθιέρωση αποτελεσματικότερων ελέγχων (επιθεωρήσεις) παρακολούθησης σε **πραγματικό χρόνο**.

Καθώς η ζήτηση για ασφαλή και αυθεντικά τρόφιμα εντείνεται, οι προσεγγίσεις, που βασίζονται στην **τεχνητή νοημοσύνη**, παρουσιάζουν αποτελεσματικές λύσεις για τη βελτίωση των προτύπων ασφάλειας τροφίμων σε ολόκληρο τον κλάδο των τροφίμων.

Συνδυάζοντας **στατιστικές τεχνικές** με **μηχανική μάθηση** για τη διασφάλιση της γνησιότητας προϊόντων-(τρόφιμα) (Pascale et al. (2021), παρέχεται **ακόμη μια** δυνατότητα αντιμετώπισης της νοθείας.

Ωστόσο, παρά την τεχνολογική πρόοδο, ο εντοπισμός της νοθείας στα τρόφιμα εξακολουθεί να αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως **περιορισμούς Αναλυτικής**, **κόστος** και **ανάγκη για εκτεταμένες βάσεις δεδομένων αναφοράς**. Στο βαθμό που αντιμετωπίζονται οι περιορισμοί Αναλυτικής και εξασφαλίζεται η δημιουργία εκτεταμένων (**μεγάλων**) **δεδομένων αναφοράς (Big Data)**, η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στις δοκιμές ρουτίνας μπορεί να **βελτιώνει** την ταχύτητα, την ακρίβεια και την αξιοπιστία ανίχνευσης.

Για την επιτυχή εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στον εντοπισμό νοθείας στα τρόφιμα, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορα ζητήματα ως προϋπόθεση βασικά από τα οποία είναι η **ποιότητα και η ποσότητα δεδομένων** (Data Quality and Quantity) καθώς και η **επιτυχημένη διαχείρισή τους**.

Η **δημιουργία εκτεταμένων βάσεων δεδομένων αναφοράς** βασίζεται στη συλλογή αυθεντικών (πχ. δειγμάτων αλλαντικών) με γνωστή και τεκμηριωμένη σύνθεση, προέλευση κρέατος και τεχνολογικές παραμέτρους παραγωγής (θερμοκρασία, χρόνος θερμικής επεξεργασίας, είδος προσθέτων υλών). **Η κάλυψη διαφορετικών συνταγών, παρτίδων και βιομηχανικών πρακτικών είναι απαραίτητη ώστε να αποτυπωθεί η φυσική μεταβλητότητα των προϊόντων.**

Οι **βάσεις δεδομένων αναφοράς** περιλαμβάνουν αναλυτικά προφίλ που προκύπτουν από τεχνικές όπως η φασματοσκοπία (FTIR, NIR), χρωματογραφία σε συνδυασμό με φασματομετρία

Αποποίηση ευθύνης: Η εργασία αυτή δεν δεσμεύει τον συντάκτη της για το περιεχόμενο των βιβλιογραφικών πηγών και δεν παρέχει δεσμευτικές συστάσεις εφα

μάζας (**LC-MS, GC-MS**) και οι γενετικές μέθοδοι (**PCR, DNA barcoding**), οι οποίες, παρά τη θερμική επεξεργασία, επιτρέπουν την **ανίχνευση ειδικών μοριακών δεικτών**. Τα **δεδομένα αυτά αναλύονται με χημειομετρικές και υπολογιστικές μεθόδους**, με σκοπό τη δημιουργία **μοντέλων ταξινόμησης**, που διακρίνουν τα γνήσια προϊόντα από νοθευμένα.

Η συνεχής **επικαιροποίηση των βάσεων δεδομένων** είναι κρίσιμη παράμετρος καθώς οι τεχνολογίες επεξεργασίας και οι πρακτικές νοθείας εξελίσσονται. Ως εκ τούτου, οι **βάσεις δεδομένων αναφοράς** αποτελούν **βασικό εργαλείο για τις αρμόδιες αρχές ελέγχου** και τη βιομηχανία τροφίμων, συμβάλλοντας στην αποτελεσματική εφαρμογή των συστημάτων ασφάλειας και αυθεντικότητας τροφίμων.

Τεχνικές ανίχνευσης νοθείας και ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης :

1. Κλασικές μέθοδοι Αναλυτικής : Χρωματογραφία, φασματοσκοπία, PCR/DNA για ταυτοποίηση ουσιών. [PMC](#)

2. Φασματοσκοπία & Εικόνες : Raman, FTIR, Υπέρυθρη/υπερφασματική απεικόνιση σε συνδυασμό με ανάλυση δεδομένων. [ScienceDirect](#)

3. Machine Learning / AI :

SVM (Support Vector Machine, αλγόριθμος), **CNN** (Convolutional Neural Network, *a type of deep learning*), **Random Forest** (ensemble machine learning technique), **Βαθιά νευρωνικά δίκτυα** (θεμελιώδεις έννοιες της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης), ταξινόμηση και ανίχνευση μοτίβων νοθείας.

PMC AI (ιχνηλασιμότητα σε blockchain & IoT) (εντοπισμός ανωμαλιών σε δεδομένα αλυσίδας εφοδιασμού. [agroengineering.org](#))

4. Predictive analytics

Πρόβλεψη κινδύνων και προειδοποιήσεις για πιθανές απάτες βασισμένες σε μοτίβα αναφορών και ιστορικά δεδομένα. [foodauthenticity.global](#)

Τεχνικές Ανίχνευσης με Τεχνητή Νοημοσύνη

Μηχανική Μάθηση και Deep Learning

Η τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπει αυτόματη ανάλυση μοτίβων σε μεγάλα και πολύπλοκα σύνολα δεδομένων (π.χ. φασματοσκοπικά, εικόνες, πίνακες χαρακτηριστικών):

- **Προσομοιώσεις, Αναγνώριση προτύπων** (*pattern recognition*) σε δεδομένα από **HSI** (Υπερφασματική απεικόνιση) ή φασματοσκοπία, ώστε να διακρίνονται από νοθευμένα τρόφιμα με υψηλή ακρίβεια. ([PMC](#))
- **Εκπαίδευση μοντέλων ML/DL** (π.χ. Random Forest, Neural Networks), που προβλέπουν την πιθανότητα νοθείας με βάση πολυδιάστατα χαρακτηριστικά. ([PMC](#))
- **Explainable AI (XAI)**: χρήση εργαλείων όπως **LIME** ή **SHAP** για να γίνει κατανοητό γιατί το μοντέλο προβλέπει νοθεία σε ένα δείγμα, βελτιώνοντας τη διαφάνεια των αποφάσεων. [ResearchGate](#)

Εικόνα & Υπερφασματική Επεξεργασία

Ο συνδυασμός “δακτυλικών αποτυπωμάτων” DNA (fingerprinting) με

Αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να επιτρέψει την ακριβή αναγνώριση

των ειδών σε επεξεργασμένα προϊόντα, αποκαλύπτοντας περιπτώσεις μερικής ή/και ολικής υποκατάστασης αυτών (*Motawe et al., 2020*).

ισύνη

4. Τεχνητή νοημοσύνη - Έλεγχος ταυτότητας προϊόντων κρέατος- Πλεονεκτήματα

Η εφαρμογή εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης στον γρήγορο έλεγχο ταυτότητας του **MDM-κοτόπουλο** σε προϊόντα επεξεργασίας κρέατος (πχ. θερμικά επεξεργασμένων προϊόντων) προσφέρει πολλά ευδιάκριτα πλεονεκτήματα:

Συνδυασμός με υψηλής ανάλυσης αναλυτικά δεδομένα (φασματοσκοπία, εικόνες κ.λπ.) για πιο αξιόπιστη απόφαση. portalrecerca.uab.cat

Ταχύτητα & αυτοματοποίηση ανάλυσης μεγάλων δεδομένων. [FIMK](#) . Αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο ή σχεδόν σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων γρήγορα και να αποτρέπουν τη διανομή νοθευμένων προϊόντων.

Ακρίβεια: υψηλή ακρίβεια και εξειδίκευση στον εντοπισμό τύπων κρέατος, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο ψευδώς θετικών ή αρνητικών σε σύγκριση με τις κλασικές μεθόδους.

Κόστος-Αποτελεσματικότητα: Οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες μειώνουν την ανάγκη για εκτεταμένη χειρωνακτική εργασία και εργαστηριακούς πόρους, Εξοικονόμηση κόστους τόσο στις Δοκιμές όσο και στον Ποιοτικό έλεγχο.

ργασία

Ευελιξία: Τα εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης μπορούν εύκολα να κλιμακωθούν για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις παραγωγής, καθιστώντας τα κατάλληλα για μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας που πρέπει να παρακολουθούν πολλά προϊόντα ταυτόχρονα.

Προσαρμοστικότητα σε νέα πρότυπα απάτης. portalrecerca.uab.cat

* **MDM (ΜΔΚ)**- Για τη διάκριση μεταξύ των διαφόρων τύπων **ΜΔΚ** (Μηχανικά Διαχωρισμένο Κρέας) και μη **ΜΔΚ** χημικών, οι ιστολογικές, μοριακών και ρεολογικές παράμετροι θεωρήθηκαν ως πιθανοί δείκτες. Από την ανάλυση δεδομένων προέκυψε ότι το ασβέστιο και, ενδεχομένως η περιεκτικότητα σε χοληστερόλη, ήταν οι μόνες κατάλληλες χημικές παράμετροι που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη διάκριση του ΜΔΚ από τα προϊόντα που δεν περιέχουν **ΜΔΚ**. Με βάση τα δημοσιευμένα δεδομένα, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο για την εξαγωγή πιθανοτήτων ταξινόμησης ενός προϊόντος ως **ΜΔΚ** με βάση την περιεκτικότητα σε ασβέστιο. Η περιεκτικότητα σε ασβέστιο από μόνη της δεν επιτρέπει τη διαφοροποίηση μεταξύ ΜΔΚ χαμηλής πίεσης και άλλων προϊόντων κρέατος, ενώ θα απαιτούνταν άλλες επικυρωμένες δοκιμές. Οι ιστολογικές παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη περιλαμβάνουν τη μικροσκοπική ανίχνευση διαφορετικών ιστών και τις αλλαγές τους (πολλά υποσχόμενη μέθοδος για τη διάκριση των τύπων MSM, αλλά απαιτείται περαιτέρω επικύρωση). Προκειμένου να βελτιωθούν οι μέθοδοι για τον προσδιορισμό του ΜΔΚ, θα πρέπει να διεξαχθούν ειδικά σχεδιασμένες μελέτες για τη συλλογή δεδομένων που λαμβάνονται με τυποποιημένες μεθόδους σχετικά με δείκτες όπως το ασβέστιο και η χοληστερόλη, ενώ θα μπορούσαν επίσης να είναι χρήσιμες μελέτες που βασίζονται σε συνδυασμούς διαφορετικών παραμέτρων. Πηγή : Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA), Πάρμα, Ιταλία - EFSA Journal 2013· 11(3):3137

Το Μηχανικά Διαχωρισμένο Κρέας (ΜΔΚ) πουλερικών είναι προϊόν που παράγεται με την αφαίρεση σάρκας από οστά ή σφάγια, χρησιμοποιώντας μηχανικά μέσα, με αποτέλεσμα την απώλεια ή αλλοίωση της δομής των μυϊκών ινών. Σύμφωνα με τον κανονισμό 853/2004, αποτελεί μια μορφή επεξεργασίας, συχνά χρησιμοποιούμενη σε λουκάνικα και παρασκευάσματα.

Βασικά Χαρακτηριστικά:

- **Παραγωγή:** Προέρχεται από σφάγια πουλερικών (π.χ. κοτόπουλο, γαλοπούλα) μετά την αρχική αποστέωση.
- **Ποιότητα & Υφή:** Λόγω της μηχανικής πίεσης, οι μυϊκές ίνες καταστρέφονται, δίνοντας μια πάστα με διαφορετική υφή από τον κιμά.
- **Νομοθεσία:** Πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις του νωπού κρέατος, ενώ απαγορεύεται η χρήση ορισμένων υλικών.
- **Σήμανση:** Στα συστατικά των τροφίμων αναγράφεται υποχρεωτικά ως «μηχανικώς διαχωρισμένο κρέας» και το είδος του ζώου (π.χ. «μηχανικώς διαχωρισμένο κρέας πουλερικών»)

5. Προϊόντα επεξεργασίας κρέατος - Υποκατάσταση κύριων συστατικών

Η νοθεία στα προϊόντα επεξεργασίας κρέατος συνήθως περιλαμβάνει υποκατάσταση κύριων συστατικών, όπου “ακριβή πρώτη ύλη - κρέας” είναι δυνατό να αντικαθίσταται με οικονομικότερες εναλλακτικές λύσεις (πχ. MDM, εντόσθια) ή και προσθήκη συστατικών σε βάρος της δηλούμενης ποσότητας κρέατος για τη μείωση κυρίως του κόστους, που, ίσως, να συνεπάγεται και αισχροκέρδια σε βάρος του καταναλωτή (Mistry & Mistry, 2019).

Η ανίχνευση της παρουσίας / προσθήκης τέτοιων συστατικών αποτελεί μέχρι σήμερα πρόκληση για την Αναλυτική προσέγγιση με αποτέλεσμα να υπάρχει “εκμεταλλεύσιμος χώρος” για παραπλάνηση ή ακόμη και νοθεία , στην περίπτωση που η χρήση τέτοιων συστατικών δεν δηλώνεται στη συσκευασία ή που δηλώνεται (εσκεμμένα ή μη) χωρίς να δηλώνεται η πραγματική συμμετοχή του στο προϊόν , όπως οφείλει από κανονιστική άποψη (νομοθεσία τροφίμων) .

Η περίπτωση του μηχανικά διαχωρισμένου κρέατος (**MDM**) αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα προς κατανόηση .



Κύριες τεχνικές ανίχνευσης νοθείας στα τρόφιμα

Τεχνικές κλασικής Αναλυτικής : Αυτές είναι συχνά προαπαιτούμενες για να παρέχουν τα δεδομένα από τα οποία **οι αλγόριθμοι AI μπορούν να μάθουν** (εκπαιδεύουν):

- Μοριακές & βιοχημικές μέθοδοι
- **PCR & DNA analysis** για τον προσδιορισμό της πραγματικής γενετικής προέλευσης συστατικών, π.χ. αν περιέχει κρέας χοιρινό / MDM

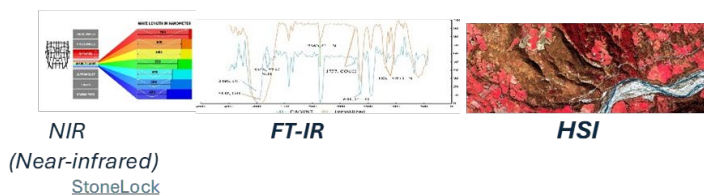
Υπερσύνδεση

ELISA και ανοσολογικές δοκιμές για ανίχνευση συγκεκριμένων πρωτεϊνών/αντιγόνων σε τρόφιμα. **Υπερσύνδεση**



Φασματοσκοπικές τεχνικές

- **NIR (Near-infrared)**, **FT-IR**, **Raman spectroscopy** και **HSI (Υπερφασματική απεικόνιση)** για μη καταστρεπτική ανάλυση της σύστασης του τροφίμου και ανίχνευση απόκλισης από τα αναμενόμενα «πρότυπα» δείγματα. [Υπερσύνδεση](#)



- 🧬 **Χρωματογραφία & Φασματομετρία**
 - **GC-MS / LC-MS** για τον εντοπισμό συγκεκριμένων μικρομορίων που υποδηλώνουν νοθεία.
portalreerca.uab.cat
 - Αυτές οι τεχνικές παρέχουν **πλούσια, πολυδιάστατα δεδομένα** που μπορούν να προωθηθούν σε μηχανές για πιο εξελιγμένη ανάλυση.

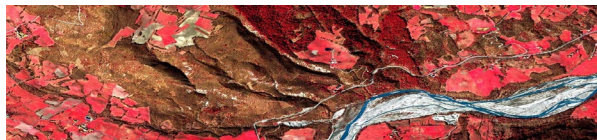


Τα AI μοντέλα μπορούν να αναλύσουν εικόνες τροφίμων (RGB, hyperspectral), όπου:

- **CNNs & deep networks** αναγνωρίζουν οπτικά μοτίβα που συσχετίζονται με νοθεία. portalrecerca.uab.cat
- Τα hyperspectral δεδομένα ενσωματώνονται σε ML μοντέλα για τον εντοπισμό λεπτών αλλαγών στη σύσταση. portalrecerca.uab.cat

HIS (Hyper spectral imaging) - Meat

Hyperspectral Imaging (HSI) for non-destructive analysis (food, materials)
<https://www.hyspex.com/>



" Εικονικό " παράδειγμα κατανόησης , **φασματικών δεδομένων** βασισμένο στη διαδικασία της εργασίας **Pascale et al., 2021**

Οι Pascale et al. (2021) έχουν δείξει ότι η **φασματοσκοπία FTIR και NIR σε συνδυασμό με τη Χημειομετρία** μπορούν να διαφοροποιήσουν με επιτυχία τους τύπους κρέατος πουλερικών εκμεταλλευόμενοι τις διαφορές στις **ζώνες απορρόφησης λιπιδίων, πρωτεϊνών και νερού**.

Επεξήγηση διαδικασίας – Σχόλια αποτελεσμάτων

Τεχνολογικά στοιχεία :

Κατηγορία Αναλυτικής	Παράδειγμα	Υποστηρίζει
Μοριακές & χημικές μέθοδοι	PCR, ELISA	Ανίχνευση συγκεκριμένων συστατικών
Φασματοσκοπία & Imaging	HSI, Raman	Ταχεία, μη καταστρεπτική ανάλυση
AI / ML	CNN, SVM, Deep Learning	Αύξηση ακρίβειας και αυτοματισμού στην ανίχνευση
Explainable AI (XAI)	LIME/SHAP	Διαφάνεια στα αποτελέσματα των μοντέλων
IoT & Blockchain	Traceability systems	Παρακολούθηση αλυσίδας εφοδιασμού

6. Ανίχνευση Νοθείας (MDM) – Παράδειγμα “εικονικών “ Φασματικών δεδομένων

(Εικόνες 1 ,2) – Επίδειξη παραδείγματος.

Μηχανική Μάθηση και

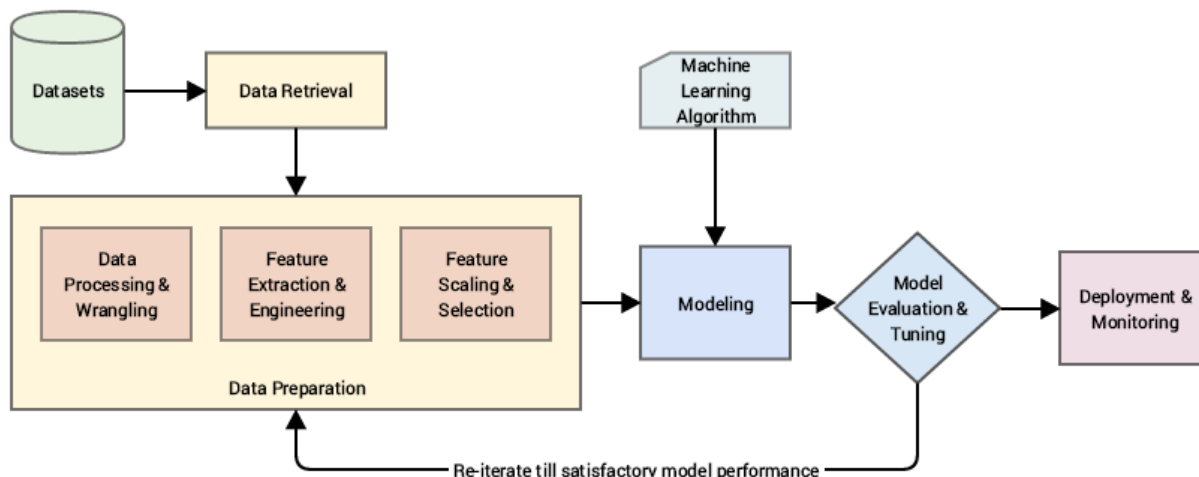
Deep Learning

Προεπεξεργασία φασμάτων

Τεχνικές Ανίχνευσης με Τεχνητή Νοημοσύνη

Τα ακατέργαστα φασματικά δεδομένα υποβάλλονται σε προεπεξεργασία για την ενίσχυση των χημικών πληροφοριών και τη μείωση των φαινομένων σκέδασης. Οι τεχνικές προεπεξεργασίας περιλαμβάνουν τυπική κανονική μεταβλητή (SNV- standard normal variate), πολλαπλασιαστική διόρθωση σκέδασης (MSC -multiplicative scatter correction) και φιλτράρισμα πρώτης παραγώγου Savitzky–Golay (πολυώνυμο δεύτερης τάξης).

Αποποίηση ευθύνης : Η εργασία αυτή δεν δεσμεύει τον συντάκτη της για το περιεχόμενο των βιβλιογραφικών πηγών και δεν παρέχει δεσμευτικές συστάσεις εφα



Σημ. : ΥΛΙΚΑ & Μεθοδολογία δοκιμών - Τα (εικονικά) δείγματα περιλαμβάνουν κρέας χοιρινό , MDM κοτόπουλο και διάφορα μείγματα αυτών, επεξεργασμένων υπό διάφορες θερμικές επεξεργασίες.

Παράδειγμα 1: Φασματικά δεδομένα NIR (απορρόφηση)

Παράδειγμα 1: Φασματικά δεδομένα NIR -

Τα φάσματα NIR συλλέγονται συνήθως από ~900–2500 nm.

Μήκος κύματος (nm)	Απορρόφηση MDM	Απορρόφηση κρέατος χοίρου	Χαρακτηριστική ομάδα
970	0.82	0.75	O–H (Υγρασία)
1200	0.65	0.58	C–H (Λίπος)
1450	1.10	0.95	O–H (Νερό)
1720	0.78	0.62	C–H (λιπίδια)
1940	1.35	1.15	Ζώνη νερού
2100	0.55	0.48	N–H (Πρωτεΐνη)
2300	0.60	0.50	C–H (λίπος/πρωτεΐνη)

Παρατήρηση:

Το MDM -πουλερικών-παρουσιάζει συνήθως υψηλότερη απορρόφηση σε ζώνες που σχετίζονται με το λίπος και την υγρασία λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε λιπίδια και νερό σε σύγκριση με το καθαρό κρέας χοίρου

Παράδειγμα 2: Φασματικά δεδομένα FTIR (Απορρόφηση)

Τα φάσματα FTIR καταγράφονται συνήθως από $\sim 4000\text{--}650\text{ cm}^{-1}$

Μήκος κύματος (cm^{-1})	MDM -πουλερικών	Κρέας χοίρου	Λειτουργική ομάδα
3290	0.95	0.88	O-H / N-H (νερό/πρωτεΐνη)
2925	1.10	0.85	C-H (λιπίδια)
2854	0.98	0.75	C-H (λιπίδια)
1650	0.90	1.05	Amide I (πρωτεΐνη)
1540	0.85	1.00	Amide II (πρωτεΐνη)
1745	0.70	0.40	C=O (εστέρες λιπιδίων)

Παρατήρηση:

MDM -πουλερικών → ισχυρότερες κορυφές που σχετίζονται με τα λιπίδια (2925, 2854, 1745 cm^{-1})

Το κρέας χοίρου → ισχυρότερες αμιδικές ζώνες που σχετίζονται με τις πρωτεΐνες (1650, 1540 cm^{-1})

εξεργασία

Παρατήρηση : Το MDM πουλερικού εμφανίζει **ισχυρότερες κορυφές, που σχετίζονται με τα λιπίδια**, ενώ το κρέας χοίρου δείχνει **πιο έντονες αμιδικές ζώνες που σχετίζονται με πρωτεΐνες**, με αύξηση στην περιεκτικότητα σε λίπος και υγρασία

Τα δεδομένα χρησιμοποιούνται στη ν εφαρμογή Μηχανικής Μάθησης

Κάθε φάσμα αντιμετωπίζεται ως **φορέας χαρακτηριστικών**:

$X = [A970, A1200, A1450, A1720, A1940, A2100, A2300, \dots]$

Αυτά τα στοιχεία εισάγονται στη συνέχεια σε μοντέλα όπως:
PCA + LDA -PLS-DA=Support Vector Machines (SVM)-Random Forest-Neural Networks

Εικόνα & Υπερφασματική Επεξεργασία

“Εικονικό” παράδειγμα:

Ποσοτικός προσδιορισμός MDM κοτόπουλου σε χοιρινό κρέας

Ενταση ζώνης FTIR έναντι ποσοστού MDM

MDM - κοτόπουλο (%)	2925 cm^{-1} (Λιπίδια)	1744 cm^{-1} (Εστέρες λιπιδίων)	1650 cm^{-1} (Πρωτεΐνη)
0 (pure pork)	0.62	0.35	1.10
5	0.66	0.40	1.05
10	0.71	0.46	0.98
20	0.80	0.55	0.90
30	0.88	0.64	0.82
50	1.02	0.78	0.68
100 (MDM)	1.25	0.95	0.50

- Οι λιπιδικές ζώνες αυξάνονται **γραμμικά** με τη συμμετοχή MDM
- Οι ζώνες πρωτεΐνης μειώνονται **γραμμικά** **Λιπίδια**
- Η συμμετοχή του MDM μπορεί να ανιχνευθεί έως και 5% και να ποσοτικοποιηθεί αξιόπιστα

Σημείωση : Οι μετρήσεις προέρχονται από “εικονικά” δεδομένα (για επεξηγηματικούς σκοπούς) και δεν αντιπροσωπεύουν πειραματικές μετρήσεις.

Αποποίηση ευθύνης : Η εργασία αυτή δεν δεσμεύει τον συντάκτη της για το περιεχόμενο των βιβλιογραφικών πηγών και δεν παρέχει δεσμευτικές συστάσεις εφα

).

Πίνακας μετρήσεων απόδοσης (Μηχανική μάθηση)
Επιδόσεις ταξινόμησης του μοντέλου SVM με βάση
συνθετικά φασματοσκοπικά δεδομένα

Τιμές	Value
Ακρίβεια	95.0%
Ευαισθησία (MDM κοτόπουλου)	96.0%
Ιδιοτυπία (κρέας χοίρου)	94.0%
Ακρίβεια	94.1%

Σύντομο κείμενο αποτελεσμάτων

Η ανάλυση **PCA** των προεπεξεργασμένων φασμάτων επιτρέπει γενικά σαφή διαχωρισμό μεταξύ δειγμάτων **MDM -κοτόπουλο** και **Κρέατος- χοιρινό** , κυρίως για το πρώτο κύριο συστατικό. Οι διαφορές στην περιεκτικότητα των λιπιδίων και υγρασίας αποδόθηκε σε διαφορές στην περιεκτικότητα σε λιπίδια και υγρασία που σχετίζονται με το MDM . Η εποπτευόμενη ταξινόμηση με χρήση **μοντέλου SVM** δίνει συνολική ακρίβεια 95%

Σημαντική σημείωση : **Η αξία των μοντέλων βελτιώνεται με δημιουργία μεγάλου αριθμού δεδομένων (μεγάλος αριθμός δειγμάτων !!!!)**

7. Επιστημονικές αναφορές και τεκμηρίωση σχετικά με την τεχνητή νοημοσύνη για τον εντοπισμό απάτης/νοθείας στον τομέα των τροφίμων:

1. Marín, Xavier et al. (2025)

— Αναδυόμενες τεχνολογίες για τον εντοπισμό απάτης στον τομέα των τροφίμων

Marín, X., Grau-Noguer, E., Gervilla-Cantero, G., Ripollés-Ávila, C., & Castillo, M. (2025). Μια ανασκόπηση του τρέχοντος τοπίου τη δεκαετία του 2020. Τάσεις στην Επιστήμη & Τεχνολογία Τροφίμων, 165, 105313. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105313>

Μελετά τις **σύγχρονες τεχνολογίες ανίχνευσης νοθείας στα τρόφιμα**, συμπεριλαμβανομένων φασματοσκοπικών μεθόδων, αισθητήρων, DNA μεθόδων και **τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης**, με έμφαση στα τελευταία δεδομένα και τις τάσεις για την περίοδο 2020-2024. Η χρήση AI/ML συνδυάζεται με κλασικές τεχνικές Αναλυτικής για καλύτερη ανίχνευση και ιχνηλασιμότητα απάτης/νοθείας τροφίμων. portalrecerca.uab.cat

2. Mafra, I., & Cichna-Markl, M. (2025).

- Review για AI στην Ανίχνευση Νοθείας

Το ταξίδι της τεχνητής νοημοσύνης στον έλεγχο ταυτότητας τροφίμων. Τρόφιμα. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12110883/>

Επισκόπηση του πώς η **τεχνητή νοημοσύνη εφαρμόζεται στην νοθεία των τροφίμων**:

- ταξινόμηση τροφίμων βάσει χαρακτηριστικών,
- ανίχνευση λεπτών προσμίξεων/νοθειών,
- ανάπτυξη εργαλείων ταχείας αναγνώρισης μέσω επεξεργασίας εικόνων και υπολογιστικών μεθόδων. Η **AI** παρέχει αξιόπιστες, γρήγορες και πιο φθηνές λύσεις σε σχέση με κλασικές μεθόδους. [ΠΜΚ](#)

3. Naeem, N. (2024)

-Τεχνικές AI για Αυθεντικότητα (με ML)

Τεχνικές βασισμένες στην τεχνητή νοημοσύνη για τη γνησιότητα των προϊόντων διατροφής στην απάτη τροφίμων. Διεθνές Περιοδικό για τη Διερεύνηση Ηλεκτρονικού Εγκλήματος, 8(3).

Συνοψίζει πώς οι τεχνικές **AI και machine learning** χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση νοθείας τροφίμων, ιδίως για ανάλυση φαινοτύπων και «χημικών δακτυλιδιών» και αναφέρει πρακτικά συστήματα όπως ηλεκτρονικές μύτες και άλλους αισθητήρες συνδυασμένους με ML για τον έλεγχο αυθεντικότητας των τροφίμων. [Πύλη Έρευνας](#)

4. Garcia, S., et al. (2019).

- Έλεγχος ταυτότητας τροφίμων με βάση το DNA και AI:

Αποποίηση ευθύνης: Η εργασία αυτή δεν δεσμεύει τον συντάκτη της για το περιεχόμενο των βιβλιογραφικών πηγών και δεν παρέχει δεσμευτικές συστάσεις εφα

«Εφαρμογή Μηχανικής Μάθησης σε Δεδομένα Αλληλουχίας DNA Τροφίμων για Έλεγχο Ταυτότητας Προϊόντων Διατροφής». *Τρόφιμα*, 8(9), 400.

“Η μελέτη διερευνά τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης που εφαρμόζονται σε δεδομένα αλληλουχίας DNA για την επαλήθευση της γνησιότητας των τροφίμων και τον εντοπισμό απάτης”.
<https://doi.org/10.3390/foods8090400>

5. Cama, J., et al. (2020).

- Φασματοσκοπία και AI στον έλεγχο ταυτότητας τροφίμων:

«Εφαρμογή Μηχανικής Μάθησης σε Φασματοσκοπικά Δεδομένα για Έλεγχο Ταυτότητας Τροφίμων». *Τάσεις TrAC στην Αναλυτική Χημεία*, 131, 116016.

“Αυτή η ανασκόπηση υπογραμμίζει πώς οι φασματοσκοπικές τεχνικές σε συνδυασμό με αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης βοηθούν στον εντοπισμό της νοθείας σε επεξεργασμένα κρέατα όπως λουκάνικα, ζαμπόν και λουκ. Φρανκφούρτης (ανίχνευση MDM)”. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.116016>

6. Li, S., et al. (2020).

-AI και μηχανική μάθηση στον εντοπισμό απάτης στα τρόφιμα:

«Μηχανική μάθηση και τεχνητή νοημοσύνη για τον εντοπισμό απάτης στα τρόφιμα: Μια κριτική». *Τρόφιμα*, 9(6), 768.

Αυτή η εργασία εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούνται μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης για τον εντοπισμό νοθείας και απάτης τροφίμων μέσω διαφόρων αναλυτικών δεδομένων. <https://doi.org/10.3390/foods9060768>

7. Motawea, R., et al. (2020)

- Υποκατάσταση ειδών σε επεξεργασμένα κρέατα:

«Μοριακές και Φασματοσκοπικές Τεχνικές για την Ανίχνευση Νοθείας Κρέατος». *Χημεία Τροφίμων*, 333, 127456.

Επικεντρώνεται σε μεθόδους που βασίζονται στο DNA και φασματοσκοπικές μεθόδους σε συνδυασμό με τεχνητή νοημοσύνη για τον εντοπισμό της υποκατάστασης αυθεντικών ειδών κρέατος σε επεξεργασμένα προϊόντα. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127456>

8. Murgia, R., et al. (2020)

- Βαθιά μάθηση για την αναγνώριση προϊόντων διατροφής:

«Προσεγγίσεις βαθιάς μάθησης για την αναγνώριση τροφίμων: Μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση». *Επιστήμη Τροφίμων & Διατροφή*, 8(4), 1854-1873.

Το άρθρο παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των τεχνικών βαθιάς μάθησης για την **αναγνώριση προϊόντων διατροφής**, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν για την ανίχνευση MDM σε επεξεργασμένα προϊόντα. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1437>

9. Murgia, R., et al. (2018)

«Γρήγορος έλεγχος ταυτότητας κρέατος και προϊόντων κρέατος με χρήση προσεγγίσεων μηχανικής μάθησης». *Έλεγχος τροφίμων*, 91, 356-365.

Αυτή η μελέτη δείχνει πώς οι **αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης** που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη μπορούν να ανιχνεύσουν νοθεία σε επεξεργασμένα κρέατα, όπως η αντικατάσταση ειδών και η παράνομη προσθήκη κρέατος. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.045>

10. Motawea, R., et al. (2020)

-Υποκατάσταση ειδών σε επεξεργασμένα κρέατα:

«Μοριακές και Φασματοσκοπικές Τεχνικές για την Ανίχνευση Νοθείας Κρέατος». *Χημεία Τροφίμων*, 333, 127456.

Επικεντρώνεται σε μεθόδους που βασίζονται στο DNA και φασματοσκοπικές μεθόδους σε συνδυασμό με τεχνητή νοημοσύνη για τον εντοπισμό της υποκατάστασης αυθεντικών ειδών κρέατος σε επεξεργασμένα προϊόντα. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127456>

11. Fernández, P., et al. (2018)

- Απάτη τροφίμων στη βιομηχανία κρέατος – Προκλήσεις και τεχνολογίες:

"Αξιολόγηση της μόλυνσης από *Listeria monocytogenes* σε μαγειρεμένα λουκάνικα και ο έλεγχός της." *Μικροβιολογία Τροφίμων*, 74, 356-363.

Αν και επικεντρώνεται κυρίως στον έλεγχο των παθογόνων, αυτή η εργασία συζητά επίσης πώς η ανίχνευση νοθείας είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της αυθεντικότητας και της ασφάλειας των επεξεργασμένων κρεάτων. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.04.007>

12. Mistry, P., & Mistry, R. (2019)

-Ολοκληρωμένες τεχνικές για τον εντοπισμό απάτης στο κρέας:

«Έλεγχος ταυτότητας τροφίμων και επαλήθευση προϊόντων κρέατος». *Ολοκληρωμένες ανασκοπήσεις στην Επιστήμη των Τροφίμων και την Ασφάλεια των Τροφίμων*, 18(1), 87-104.

Παρέχει μια επισκόπηση διαφόρων αναλυτικών μεθόδων και μεθόδων με τεχνητή νοημοσύνη που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό δόλιων πρακτικών, όπως η υποκατάσταση ειδών, η αραίωση και η παράνομη προσθήκη συστατικών εκτός κρέατος σε επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12488>

13. Zhang, Z., et al. (2022)

- AI και πολυτροπική ανίχνευση για έλεγχο ταυτότητας τροφίμων:

«Πολυτροπική συγχώνευση δεδομένων για την αξιολόγηση της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων: Μια ανασκόπηση». *Έλεγχος Τροφίμων*, 140, 109066.

Αυτή η ανασκόπηση εξετάζει διάφορες τεχνικές πολυτροπικής ανίχνευσης, συμπεριλαμβανομένου του ρόλου της τεχνητής νοημοσύνης στην αξιολόγηση της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων, εστιάζοντας σε εφαρμογές ελέγχου ταυτότητας. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109066>

14. Pascale, G., et al. (2021).

- "Ανίχνευση απάτης τροφίμων με χρήση πολυμεταβλητών δεδομένων και τεχνητής νοημοσύνης:

Μέθοδοι Τεχνητής Νοημοσύνης για την Αυθεντικότητα των Τροφίμων και τον Εντοπισμό Απάτης στα Τρόφιμα». *Τρέχουσα γνωμοδότηση στο Food Επιστήμη*, 39, 184-191.

Αυτή η ανασκόπηση εξετάζει διάφορα εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης, συμπεριλαμβανομένων των νευρωνικών δικτύων και των μηχανών διανυσμάτων υποστήριξης, που εφαρμόζονται στις δοκιμές γνησιότητας των τροφίμων. Ακόμη, δίνει ορισμένες σχετικές επιστημονικές αναφορές που εστιάζουν σε τεχνικές πολυτροπικής ανίχνευσης με τη βοήθεια τεχνητής νοημοσύνης για μηχανικά αποστεωμένο κρέας κοτόπουλου (MDM) σε θερμικά επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος γαλοπούλας. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.11.004>

εργασία

15. Pascale, M., et al. (2021)

Εφαρμογή δονητικής φασματοσκοπίας και χημειομετρίας για τον έλεγχο ταυτότητας κρέατος και την ανίχνευση απάτης.

Έλεγχος Τροφίμων, 123, 107742. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107742>

Μηχανική
Deep Learn

16. Zhao, M., et al. (2020)

-Computer Vision για την αξιολόγηση της ποιότητας των τροφίμων:

«Προσεγγίσεις βασισμένες στην όραση υπολογιστή για την αξιολόγηση της ποιότητας των τροφίμων: Μια ανασκόπηση». *Κριτικές κριτικές στην Επιστήμη των Τροφίμων και τη Διατροφή*, 60(16), 2705-2720.

Η ανασκόπηση καλύπτει τεχνικές υπολογιστικής όρασης στις αξιολογήσεις ποιότητας τροφίμων και μπορεί να παρέχει πληροφορίες για τον εντοπισμό νοθείας χρησιμοποιώντας ανάλυση εικόνας.

<https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1640415>

νοημοσύνη

17. Guzman, J., et al. (2021)

-Εφαρμογή AI σε δοκιμές γνησιότητας κρέατος:

«Πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνητή νοημοσύνη για τον έλεγχο ταυτότητας προϊόντων κρέατος:

Αποποίηση ευθύνης: Η εργασία αυτή δεν δεσμεύει τον συντάκτη της για το περιεχόμενο των βιβλιογραφικών πηγών και δεν παρέχει δεσμευτικές συστάσεις εφα

Μια κριτική». *Τάσεις στην Επιστήμη και Τεχνολογία Τροφίμων*, 112, 179-192.

Η ανασκόπηση εστιάζει στις πιο πρόσφατες εξελίξεις στις εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης στον **έλεγχο ταυτότητας προϊόντων κρέατος**, επισημαίνοντας βασικές μεθοδολογίες και τεχνολογίες.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.004>

Νοθεία κοτόπουλου σε άλλους τύπους κιμά (Kamruzzaman, Makino and Oshita, 2014; Garrido-Novell et al., 2018; Ayaz, Ahmad, Mazzara, et al., 2020; Φεγγού, Τσακανίκας και Νυχάς, 2021),

18. Φέγκου, Λ.-Κ.; Τσακανίκας, Π.; Νυχάς, Γ.-Ι.Ε.

Ταχεία ανίχνευση νοθείας χοιρινού κιμά και κοτόπουλου σε νωπό, αποθηκευμένο και **μαγειρεμένο κιμά**. Έλεγχος Τροφίμων 2021, 125, 108002. [Διασταυρούμενη αναφορά].

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713521001407>

Οι τύποι απάτης τροφίμων που ερευνήθηκαν περιλαμβάνουν: νοθεία κοτόπουλου σε άλλους τύπους κιμά (Kamruzzaman, Makino and Oshita, 2014; Garrido-Novell et al., 2018; Ayaz, Ahmad, Mazzara, et al., 2020; Φεγγού, Τσακανίκας και Νυχάς, 2021),

Εικόνα & Υπερφασματική Επεξεργασία

Μηχανική Μάθηση και
Deep Learning

Τεχνικές Ανίχνευσης με Τεχνητή Νοημοσύνη