

Νέες τεχνολογίες στην επεξεργασία πρώτων υλών, προϊόντων και παραπροϊόντων της βιομηχανίας τροφίμων

**Σταύρος Λαλάς
Καθηγητής
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

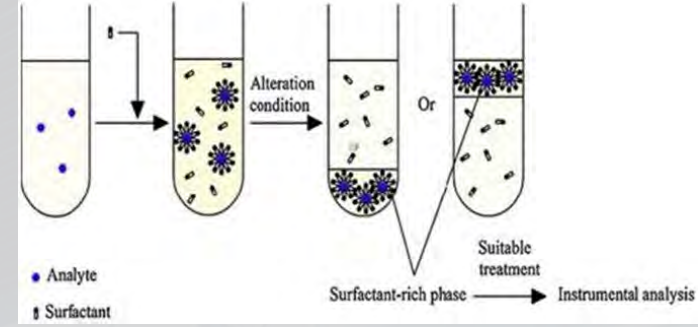
Εισαγωγή

Η βιομηχανία τροφίμων αναζητά συνεχώς νέες τεχνολογίες επεξεργασίας που να χαρακτηρίζονται από περιβαλλοντικό προφίλ, υψηλή αποδοτικότητα, χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια και εξαιρετική ποιότητα τελικού προϊόντος.

Κάποιες από αυτές είναι:

- Εκχύλιση στο Σημείο Εκνέφωσης (Cloud Point Extraction-CPE)
- Βαθέως εύτηκτοι διαλύτες (Deep Eutectic Solvents - DES)
- Παλλόμενο Ηλεκτρικό Πεδίο (Pulsed Electric Field - PEF)

Εκχύλιση στο Σημείο Εκνέφωσης (Cloud Point Extraction-CPE)

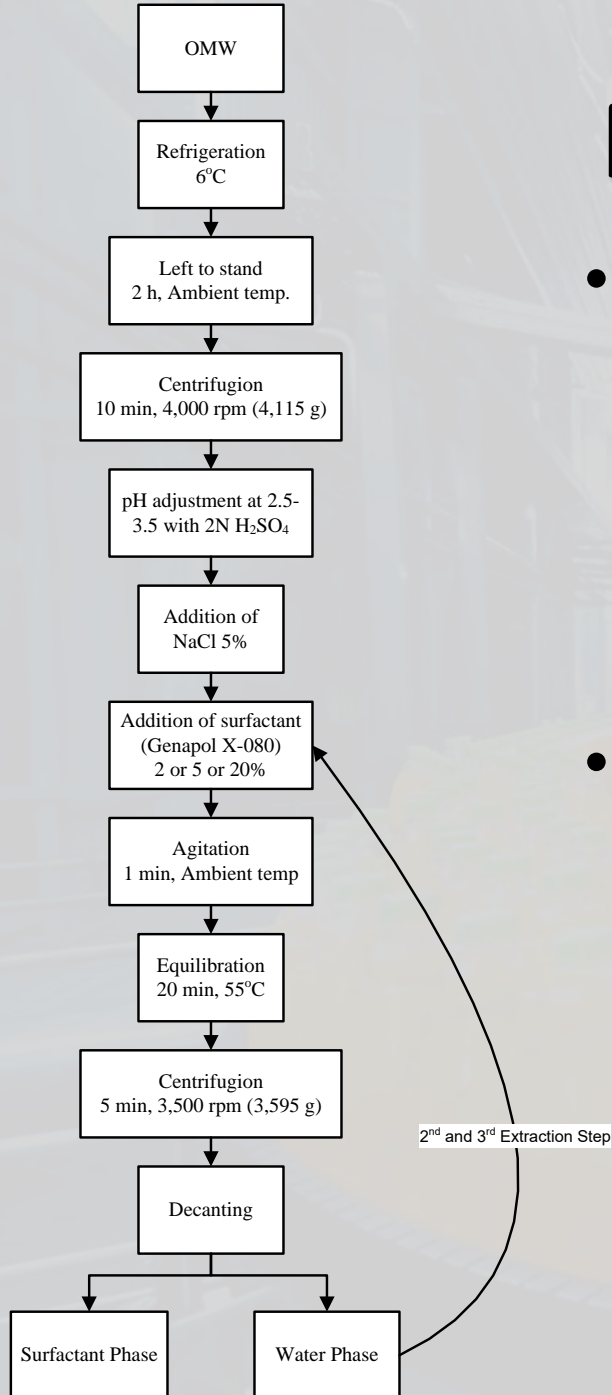
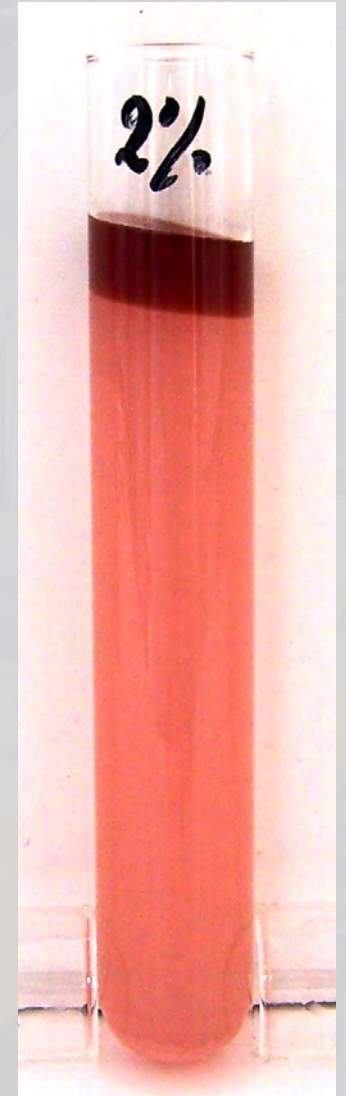


- Είναι μια «καθαρή» τεχνολογία που επιτρέπει την προ-συμπύκνωση δειγμάτων με εκχύλιση των επιθυμητών μορίων σε πολύ μικρό όγκο.
- Χρησιμοποιούνται μη τοξικές επιφανειοδραστικές ουσίες (π.χ. λεκιθίνη, Genapol X-080, PEG 8000, Tween 80, Triton X-114, κλπ.)
- Τα επιφανειοδραστικά απομακρύνονται εύκολα (με φυσικό διαχωρισμό σε ηρεμία ή φυγοκέντρωση).
- Πολλά είδη μορίων μπορούν να εκχυλιστούν στη φάση του επιφανειοδραστικού.

Πως λειτουργεί;

- Όταν η συγκέντρωση του επιφανειοδραστικού αυξάνεται πάνω από ένα ορισμένο όριο που ονομάζεται «κρίσιμη μικκυλιακή συγκέντρωση» (ΚΜΣ), τα επιφανειοδραστικά συσσωματώνονται και σχηματίζουν μικκύλια.

- Όταν ένα τέτοιο μικκυλιακό διάλυμα μη ιονικής επιφανειοδραστικής ουσίας θερμαίνεται πάνω από τη θερμοκρασία σημείου εκνέφωσης το σύστημα διαχωρίζεται σε δύο φάσεις, την **πλούσια σε επιφανειοδραστικό φάση** και την **υδατική**, που περιέχει μία συγκέντρωση επιφανειοδραστικού κοντά στην ΚΜΣ σε αυτή τη θερμοκρασία.



Πλεονεκτήματα

- Τα μικυλλιακά συστήματα μπορούν να προσφέρουν μια πραγματικά εναλλακτική λύση έναντι των οργανικών διαλυτών.
- Οι μη ιονικές επιφανειοδραστικές ουσίες δεν προκαλούν τοξικολογικά ή δερματολογικά προβλήματα, είναι μη πτητικές και ταξινομούνται ως μη τοξικές ή αβλαβείς ενώσεις.
- Η τεχνική είναι εύκολη, εξαιρετικά οικονομική και αποδοτική.
- Συνδυάζεται πολύ καλά με άλλες τεχνικές όπως η «μοριακή αποτύπωση».

Μειονεκτήματα

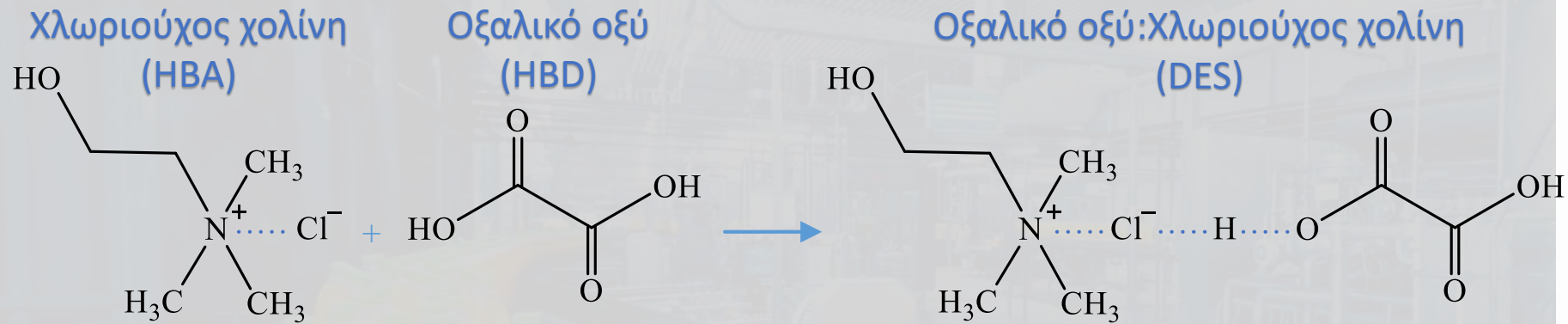
- Η τεχνική είναι κατάλληλη **μόνο** για υγρά δείγματα.

Βαθέως εύτηκτοι διαλύτες (Deep Eutectic Solvents-DES)

- Οι βαθέως εύτηκτοι διαλύτες, επίσης γνωστοί και ως μίγματα χαμηλής θερμοκρασίας μετάβασης (low-transition temperature mixtures - LTTMs), είναι καινοτομικώς σχεδιασμένα υγρά.
- Η σύνθεση των DES είναι ιδιαίτερα εύκολη και φιλική προς το περιβάλλον. Χρησιμοποιούνται χαμηλού κόστους, ανακυκλώσιμα και μη-τοξικά υλικά, όπως ορισμένες φυσικές ουσίες (π.χ. σάκχαρα, οργανικά οξέα, άλατα, κτλ.).
- Δίνουν σημαντικά υψηλότερες αποδόσεις στις εκχυλίσεις σε σχέση με συμβατικούς διαλύτες.

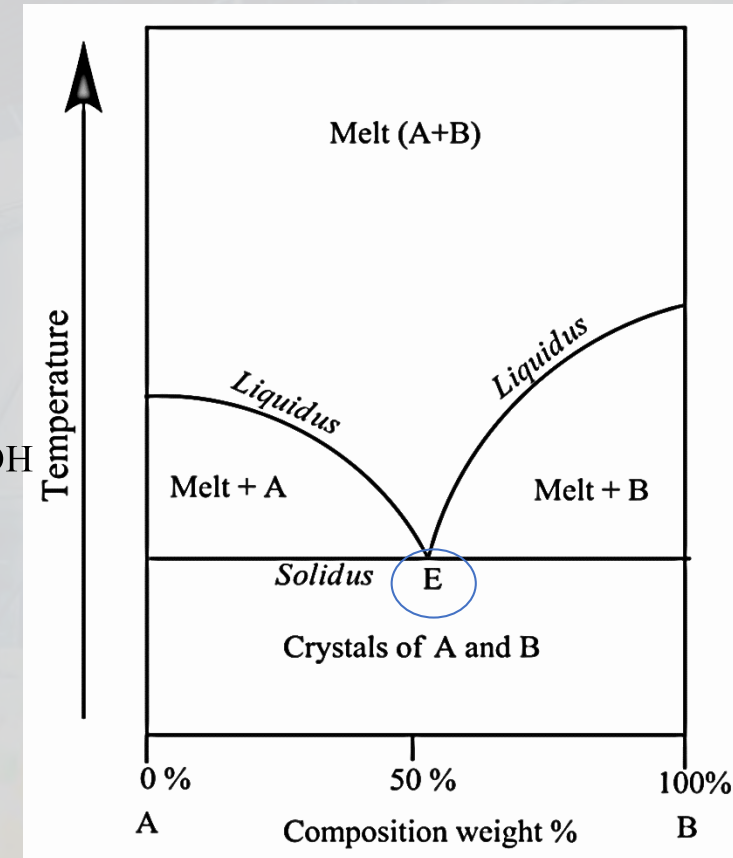
Πως λειτουργεί;

- Μείγμα δύο ή περισσότερων βιομορίων με εύτηκτο σημείο (E).
- Εύτηκτο μείγμα – Δεσμοί υδρογόνου (δότες & δέκτες).



Παράδειγμα σχηματισμού δεσμού υδρογόνου ανάμεσα σε βιομόρια.

- Παραδείγματα ανάμειξης βιομορίων:
 - L-γαλακτικό οξύ : Χλωριούχος χολίνη
 - Γλυκερόλη : Οξικό νάτριο



Γράφημα. Επίδραση της θερμοκρασίας στο σχηματισμό των DES.

Πλεονεκτήματα

- Έχουν χαμηλή τάση ατμών, ευελιξία μεταβολής της σύνθεσης, απουσία ευφλεκτότητας και αναμιξιμότητα με το νερό.
- Έχουν εφαρμογές σε ένα μεγάλο εύρος αειφορικών εφαρμογών στην χημεία, την τεχνολογία τροφίμων/φαρμάκων/καλλυντικών και σε άλλες περιβαλλοντικά ήπιες εφαρμογές.
- Η τεχνική είναι κατάλληλη για υγρά και ξηρά δείγματα.

Μειονεκτήματα

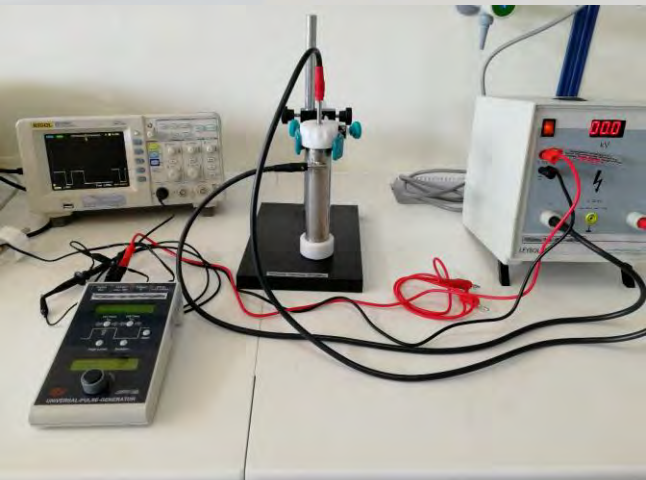
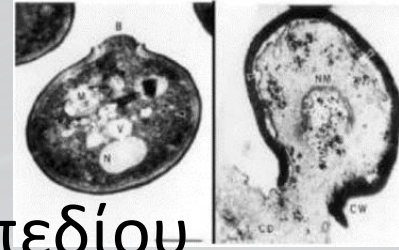
- Απαιτεί προσθήκη σημαντικής ποσότητας νερού.

Παλλόμενο Ηλεκτρικό Πεδίο (Pulsed Electric Field-PEF)

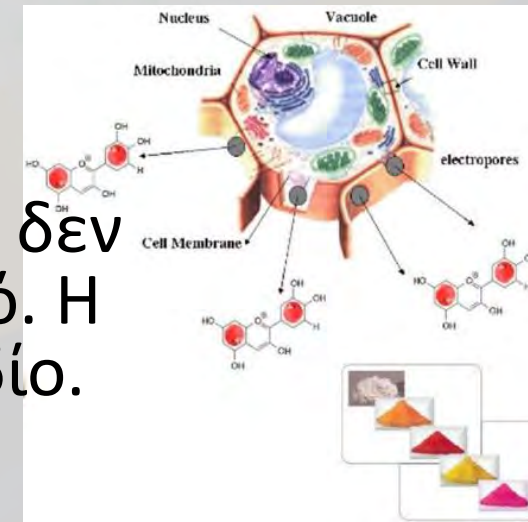
- Αποτελεί μία εναλλακτική μέθοδο χωρίς θέρμανση, η οποία μάλιστα μπορεί να επιτύχει αυξημένα ποσοστά εκχύλισης, ξήρανσης, ακόμη και ελάττωση του μικροβιακού φορτίου στο επεξεργασμένο υλικό.
- Η επεξεργασία έχει ως στόχο την πρόκληση του φαινομένου της ηλεκτροπόρωσης στις μεμβράνες των κυττάρων, τόσο αυτών του φυτικού υλικού όσο και των ανεπιθύμητων μικροοργανισμών.
- Η έκθεση ενός κυττάρου σε ένα ηλεκτρικό πεδίο υψηλής έντασης με μορφή πολύ μικρών παλμών προκαλεί το σχηματισμό παροδικών ή μόνιμων πόρων στην κυτταρική μεμβράνη. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται ηλεκτροπόρωση και προκαλεί την αύξηση της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης.

Πως λειτουργεί;

- Η τεχνική βασίζεται στην εφαρμογή μικρών παλμών ηλεκτρικού πεδίου εντάσεως από <1 έως 80 kV/cm διάρκειας από μsec έως msec , με ελάχιστες θερμικές επιπτώσεις ($\text{max. } +2^\circ\text{C}$) στο τελικό προϊόν.
- Η απαιτούμενη ενέργεια προέρχεται από μία τροφοδοσία υψηλής τάσης που αποθηκεύεται σε έναν ή περισσότερους πυκνωτές και εκκενώνεται ώστε να παραχθεί το αναγκαίο ηλεκτρικό πεδίο. Η αποθηκευμένη αυτή ενέργεια μπορεί να εκκενωθεί σχεδόν στιγμιαία σε πολύ υψηλά επίπεδα ισχύος. Η εκκένωση λαμβάνει χώρα σε ένα θάλαμο επεξεργασίας στον οποίο τοποθετείται το φυτικό υλικό.



- Δεν γίνεται ηλεκτρόλυση του υλικού καθώς δεν υπάρχει διέλευση ρεύματος μέσα από αυτό. Η επεξεργασία γίνεται μόνο με ηλεκτρικό πεδίο.



Πλεονεκτήματα

- Η τεχνολογία PEF διασφαλίζει την διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων, όπως τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τη διατροφική αξία, καθώς και τον έλεγχο του μικροβιακού φορτίου κατά την επεξεργασία, μη θερμικά.
- Υποβοηθά διεργασίες όπως η ξήρανση, η αφυδάτωση, η εκχύλιση και η λυοφιλοποίηση.
- Η τεχνική είναι κατάλληλη για υγρά αλλά και ξηρά δείγματα.

Μειονεκτήματα

- Πολύ νέα τεχνολογία. Χρειάζεται διερεύνηση ακόμη.

Ερευνητικά προγράμματα σε εξέλιξη

(ως Συντονιστής και Επιστημονικός υπεύθυνος)

- «Χρήση παλλόμενου ηλεκτρικού πεδίου για την εκχύλιση πολύτιμων συστατικών από φυτικό υλικό» για την εταιρία Κορρές Α.Ε. «ΕΡΕΥΝΩ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ-ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ». Προϋπολογισμός: 960.840€
- «Δημιουργία βιολειτουργικών προϊόντων σοκολάτας με την προσθήκη, εγκλωβισμένων σε μικρογαλακτώματα, εκχυλισμάτων αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών που έχουν παραχθεί με καινοτόμο τεχνολογία (βαθιά εύτηκτους διαλύτες)» για την εταιρία Cocosowa. «ΕΡΕΥΝΩ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ-ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ». Προϋπολογισμός: 760.000€
- «Δημιουργία βιολειτουργικών μεταλλικών νερών με την προσθήκη εκχυλισμάτων φρούτων, λαχανικών, ελληνικών αρωματικών βοτάνων, κάνναβης, φύλλων *Moringa oleifera* και φύλλων ελληνικών ποικιλιών ελιάς που έχουν παραχθεί με καινοτόμο τεχνολογία (βαθώς εύτηκτοι διαλύτες) ή με την προθήκη χουμικών και φουλβικών οξέων» για τις εταιρίες CPI ΕΠΕ (Νερό Σαμαρίνα) και BIOMECCANN Α.Ε. «ΕΡΕΥΝΩ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ-ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ» (Β' Κύκλος). Προϋπολογισμός: 1.000.000€
- «Νέες Καινοτόμες Μέθοδοι Παραγωγής Προϊόντων Υψηλής Διατροφικής Αξίας από το Ρόδι». Πρόταση που υλοποιείται στα πλαίσια της προκήρυξης «Ίδρυση και λειτουργία επιχειρησιακών ομάδων της Ευρωπαϊκής σύμπραξης καινοτομίας για την παραγωγικότητα και τη βιωσιμότητα της γεωργίας» (ΥΠΟΜΕΤΡΟ 16.1-16.2). για τον Αγροτικό Συνεταιρισμό Παραγωγών Οπωροκηπευτικών Αγίου Αθανασίου Δράμας. Προϋπολογισμός: 200.000€

Ενδεικτική βιβλιογραφία

Cloud Point Extraction (CPE)

- **Application of cloud point extraction using surfactants in the isolation of physical antioxidants (phenols) from olive mill wastewater** (2006). E. Katsoyannos, A. Chatzilazarou, O. Gortzi, S. Lalas, Sp. Konteles and P. Tataridis. *Fresenius Environmental Bulletin*, 15 (9B), 1122-1125.
- **Recovery of natural antioxidants from olive mill wastewater using Genapol-X080**. (2008). Gortzi O., Lalas S., Chatzilazarou A., Katsoyannos E., Papakonstandinou Sp. and Dourtoglou E. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85 (2), 133-140.
- **Removal of polyphenols from wine sludge using cloud point extraction**. (2010). A. Chatzilazarou, E. Katsoyannos, O. Gortzi, S. Lalas, Y. Paraskevopoulos, E. Dourtoglou, and J. Tsaknis. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 60 (4), 454-459.
- **Evaluation of the suitability of low hazard surfactants for the separation of phenols and carotenoids from red-flesh orange juice and olive mill wastewater using cloud point extraction**. (2012). E. Katsoyannos, O. Gortzi, Ar. Chatzilazarou, V. Athanasiadis, J. Tsaknis, and S. Lalas. *Journal of Separation Science*, 35 (19), 2665-2670.
- **Optimization of the extraction of antioxidants from winery wastes using cloud point extraction and a surfactant of natural origin (lecithin)** (2020). A. Alibade, G. Batra, E. Bozinou, C. Salakidou and S. Lalas. *Chemical Papers*, 74(12), 4517-4524. DOI: 10.1007/s11696-020-01269-0.

Deep Eutectic Solvent (DES)

- **Enhanced extraction of antioxidant polyphenols from *Moringa oleifera* lam. leaves using a biomolecule-based low-transition temperature mixture**. (2017). I. Karageorgou, Sp. Grigorakis, S. Lalas, and D. Makris. *European Food Research and Technology*, 243 (10), 1839–1848.
- **Highly efficient extraction of antioxidant polyphenols from *Olea europaea* leaves using an eco-friendly glycerol/glycine deep eutectic solvent**. (2018). V. Athanasiadis, Sp. Grigorakis, S. Lalas and D. Makris. *Waste and Biomass Valorization*, 9 (11), 1985-1992.
- **Methyl β -cyclodextrin as a booster for the extraction for *Olea europaea* leaf polyphenols with a bio-based deep eutectic solvent**. (2018). V. Athanasiadis, Sp. Grigorakis, S. Lalas and D. Makris. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 8(2), 345-355.
- **Effect of carotenoids extracted from dry tomato waste on the stability and characteristics of various vegetable oils**. (2018). V. Nour, A.R. Corbu, P. Rotaru, I. Karageorgou and S. Lalas. *Grasas Y Aceites*, 69 (1), e238.
- **Incorporation of 2-hydroxypropyl β -cyclodextrin in a biomolecule-based low-transition temperature mixture (LTTM) boosts efficiency of polyphenol extraction from *Moringa oleifera* Lam leaves**. (2018). I. Karageorgou, Sp. Grigorakis, S. Lalas, I. Mourtzinou, D.P. Makris. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 9 (5), 62-69.
- **Stability effects of methyl β -cyclodextrin on *Olea europaea* leaf extracts in a natural deep eutectic solvent** (2018). Athanasiadis V., Grigorakis S., Lalas S., Makris D.P. *European Food Research & Technology*, 244 (10), 1783-1792.
- **The effect of 2-hydroxypropyl β -cyclodextrin on the stability of polyphenolic compounds from *Moringa oleifera* Lam leaf extracts in a natural low-transition temperature mixture** (2018). Karageorgou I., Grigorakis S., Lalas S., Makris D.P. *Nova Biotechnologica et Chimica*, 17(1), 29-37.
- **Drying optimization to obtain carotenoid-enriched extracts from industrial peach processing waste (pomace)** (2019). S. Lalas, A. Alibade, E. Bozinou, D. Makris. *Beverages*, 5, 43.
- **Polyphenol extraction from *Humulus lupulus* (hop) using a neoteric glycerol/L-alanine deep eutectic solvent: optimisation, kinetics and the effect of ultrasound-assisted pretreatment** (2019). A. Lakka, I. Karageorgou, O. Kaltsa, G. Batra, E. Bozinou, S. Lalas, D. Makris. *AgriEngineering*, 1, 403-417, doi:10.3390/agriengineering1030030.
- **Saffron processing wastes as a bioresource of high-added value compounds: Development of a green extraction process for polyphenol recovery using a natural deep eutectic solvent** (2019). A. Lakka, Sp. Grigorakis, I. Karageorgou, G. Batra, O. Kaltsa, E. Bozinou, S. Lalas and D.P. Makris. *Antioxidants*, 8, 586. doi:10.3390/antiox8120586.
- **The effect of ultrasonication pretreatment on the production of polyphenol-enriched extracts from *Moringa oleifera* L. (drumstick tree) using a novel bio-based deep eutectic solvent** (2019) A. Lakka, Sp. Grigorakis, O. Kaltsa, I. Karageorgou, G. Batra, E. Bozinou, S. Lalas, D.P. Makris. *Applied Sciences*, 10 (1), 220. DOI: 10.3390/app10010220.
- **A green extraction process for polyphenols from elderberry (*Sambucus nigra*) flowers using deep eutectic solvent and ultrasound-assisted pretreatment** (2020). O. Kaltsa, A. Lakka, Sp. Grigorakis, I. Karageorgou, G. Batra, E. Bozinou, S. Lalas, D.P. Makris. *Molecules*, 25 (4), 921. DOI: 10.3390/molecules25040921.
- **Green valorization of olive leaves for the production of polyphenol-enriched extracts using an environmentally benign deep eutectic solvent** (2020). O. Kaltsa, Sp. Grigorakis, A. Lakka, E. Bozinou, S. Lalas, D.P. Makris. *AgriEngineering*, 2, 226–239. doi:10.3390/agriengineering2020014.

Pulsed Electric Field (PEF)

- **Pulsed Electric Field extraction and antioxidant activity determination of *Moringa oleifera* dry leaves: A comparative study with other extraction techniques** (2019). Bozinou E., Karageorgou I., Batra G., Dourtoglou V.G. and Lalas S.I. *Beverages*, 5 (1), 8. doi:10.3390/beverages5010008
- **Pulsed electric field extraction of α and β -acids from pellets of *Humulus Lupulus* (hop)** (2020). G. Ntourtoglou, E.A. Tsapou, F. Drosou, E. Bozinou, S. Lalas, P. Tataridis and V. Dourtoglou. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 297. DOI: 10.3389/fbioe.2020.00297.
- **In situ creation of the natural phenolic aromas of beer: A pulsed electric field applied to wort-enriched flax seeds**. (2020). E.A. Tsapou, G. Ntourtoglou, F. Drosou, P. Tataridis, Th. Dourtoglou, S. Lalas, V. Dourtoglou. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 583617. DOI: 10.3389/fbioe.2020.583617.
- **Acceleration of the aging process of Xinomavro wine (Amyntaio, Greece) using Pulsed Electric Field and wood chips of various origin**. (2020). A.K. Toulaki, E. Bozinou, V. Athanasiadis, G. Mantanis, V.G. Dourtoglou and S.I. Lalas. *Beverages*, submitted for publication.
- **Extraction of volatile aroma components from roasted oak wood using pulsed electric field**. (2020). E.G. Dourtoglou, M. Marinea, Y. Enoch, F. Drosou, A. Chatzilazarou, E. Bozinou, S. Lalas and V.G. Dourtoglou. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, submitted for publication.



Σας ευχαριστώ πολύ