

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Περιβαλλοντική Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων Εγκαταστάσεων
Μηχανολογικού Εξοπλισμού σε συνδυασμό με τη Διερεύνηση και Μελέτη
Συνθηκών Καλλιέργειας των Μυδιών»**

Θεόδωρος Τσίπας

ΒΟΛΟΣ 2024

**UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC
ENVIRONMENT**

POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

**« The environmental management of liquid waste from mechanical
equipment facilities in combination with the investigation and study
of mussel cultivation conditions»**

Theodoros Tsipas

VOLOS 2024

**«Περιβαλλοντική Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων Εγκαταστάσεων
Μηχανολογικού Εξοπλισμού σε συνδυασμό με τη Διερεύνηση και Μελέτη
Συνθηκών Καλλιέργειας των Μυδιών»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1. Μαριάνθη Χατζηιωάννου**, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Εκτροφή Σαλιγκαριών και Βατράχων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων***.
- 2. Αθανάσιος Εξαδάκτυλος**, Καθηγητής, Γενετική Υδρόβιων Ζωικών Οργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.
- 3. Δημήτριος Βαφείδης** Καθηγητής, Βιοποικιλότητα των Θαλάσσιων Βενθικών Ασπονδύλων και άμεση – έμμεση χρηστικότητα τους, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την Επιβλέπουσα της εργασίας αυτής, κα Μαριάνθη Χατζηιωάννου, για την πολύτιμη βοήθειά της και την ευγενική διάθεση προσφοράς της, τόσο κατά τη διαδικασία συγγραφής της παρούσας εργασίας, όσο και κατά τη διάρκεια του προγράμματος των μεταπτυχιακών μου σπουδών, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους 1) Εξαδάκτυλο Αθανάσιο και 2) Βαφείδη Δημήτριο για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους σε όλα τα στάδια των μεταπτυχιακών μου σπουδών και τελικώς της διεκπεραίωσης της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου και τους συναδέλφους μου, για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Κεφάλαιο 1 ^ο ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Περιβαλλοντική Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων	4
1.1.1 Νερό και Ποιότητα Ζωής	4
1.1.2 Διαχείριση υδάτινων πόρων	4
1.1.3 Εννοιολογική Προσέγγιση Υγρών Αποβλήτων	5
1.1.4 Μέθοδοι Διαχείρισης Υγρών Αποβλήτων	6
1.1.5 Διαδικασία Απόρριψης Υγρών Αποβλήτων	9
1.1.6 Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης Υγρών Αποβλήτων	10
1.2 Η Καλλιέργεια των Μυδιών	13
1.2.1 Εκτροφή των Μυδιών	13
1.2.2 Μορφολογία, ανατομία, βιολογία & διατροφικές απαιτήσεις Μυδιών	16
1.2.3 Διαχείριση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιέργειας Μυδιών	18
1.2.4 Οι Καλλιέργειες των μυδιών σε διεθνές επίπεδο	21
1.2.5 Η Καλλιέργεια των μυδιών στην Ελλάδα	22
Κεφάλαιο 2 ^ο ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	24
2.1 Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής	24
2.2 Ανάλυση προγράμματος LCA	27
2.3 Μονάδα ανοιχτής εκτροφής μυδιών	32
2.4 Μονάδα κλειστής εκτροφής μυδιών	34
2.5 Οικοτοξικότητα του γλυκού νερού σε μονάδα ανοιχτής και κλειστής εκτροφής μυδιών	36
2.6 Ευτροφισμός και Καλλιέργεια Μυδιών	37
2.7 Όξυνση Ωκεανών και Καλλιέργεια Μυδιών	41
Κεφάλαιο 3 ^ο ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	44
3.1 Πληροφορίες για την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων	44
3.2 Αξιολόγηση Κύκλου ζωής (LCA) σε μονάδα ανοιχτής εκτροφής μυδιών	45
3.3 Αξιολόγηση Κύκλου ζωής (LCA) σε μονάδα κλειστής εκτροφής μυδιών	48
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	58

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιβαλλοντική διαχείριση υγρών αποβλήτων εγκαταστάσεων μηχανολογικού εξοπλισμού σε συνδυασμό με τη διερεύνηση και μελέτη των συνθηκών καλλιέργειας των μυδιών αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την αειφόρο ανάπτυξη της μυδοκαλλιέργειας. Η περιβαλλοντική διαχείριση των υγρών αποβλήτων στις εγκαταστάσεις μηχανολογικού εξοπλισμού επιδιώκει τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των αποβλήτων, που παράγονται από αυτές τις εγκαταστάσεις. Αυτό περιλαμβάνει την αποτελεσματική συλλογή, επεξεργασία και διάθεση των αποβλήτων, με σκοπό τη μείωση της ρύπανσης του νερού και του εδάφους, την προστασία της υγείας του πληθυσμού και τη διασφάλιση της βιωσιμότητας των οικοσυστημάτων.

Παράλληλα, η διερεύνηση και μελέτη των συνθηκών καλλιέργειας των μυδιών αφορά την ανάλυση και την αξιολόγηση των παραμέτρων που επηρεάζουν την ανάπτυξη και την παραγωγή των μυδιών. Αυτή η μελέτη συμπεριλαμβάνει τις συνθήκες του νερού, την ποιότητα του, την θερμοκρασία, την παραγωγή τροφής, τη διαχείριση των αποβλήτων και τις τεχνικές καλλιέργειας που εφαρμόζονται. Ο συνδυασμός αυτών των παραγόντων συνιστά απαραίτητη προσέγγιση για την αειφόρο ανάπτυξη της μυδοκαλλιέργειας.

Η περιβαλλοντική διαχείριση των υγρών αποβλήτων εγκαταστάσεων μηχανολογικού εξοπλισμού εξασφαλίζει ότι η καλλιέργεια των μυδιών δεν προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, ενώ η διερεύνηση και μελέτη των συνθηκών καλλιέργειας βοηθά στη βελτίωση της απόδοσης και της βιωσιμότητας της μυδοκαλλιέργειας. Συνολικά, η ολοκληρωμένη προσέγγιση της περιβαλλοντικής διαχείρισης υγρών αποβλήτων εγκαταστάσεων μηχανολογικού εξοπλισμού σε συνδυασμό με τη διερεύνηση και μελέτη των συνθηκών καλλιέργειας των μυδιών προάγει την αειφόρο ανάπτυξη της μυδοκαλλιέργειας, συνδυάζοντας την προστασία του περιβάλλοντος με την αποδοτική παραγωγή μυδιών.

Σύμφωνα με τον FAO, η υδατοκαλλιέργεια παραμένει ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους κλάδους παραγωγής ζωικών τροφίμων παγκοσμίως. Τα εκτρεφόμενα ψάρια, μαλακόστρακα και μαλάκια παρέχουν ένα αυξανόμενο μέρος της ανθρώπινης

προσφοράς τροφής, συμπληρώνοντας και υποκαθιστώντας την αλιεία που υπεραλιεύεται ή μειώνεται στα άγρια αλιεύματα και είναι μείζονος οικονομικής σημασίας σε πολλές χώρες.

Στην Ελλάδα, η θαλάσσια υδατοκαλλιέργεια είναι ο μεγαλύτερος κλάδος υδατοκαλλιέργειας σε όρους τόσο του όγκου όσο και της αξίας παραγωγής. Η εκτροφή μυδιών, η οποία έχει μακρά ιστορία σε ορισμένες ευρωπαϊκές χώρες, βασίζεται σε μια ποικιλία πολιτιστικών τεχνικών που αναπτύχθηκαν αρχικά σε διαφορετικά φυσικά περιβάλλοντα και έχει παίξει μεγάλο ρόλο στην κάλυψη των αυξανόμενων πρωτεϊνικών απαιτήσεων του ανθρώπινου πληθυσμού. Το μύδι είναι το κοινό όνομα για τα μέλη πολλών οικογενειών δίθυρων μαλακίων, τα οποία ζουν σε ενδιαιτήματα αλμυρού και γλυκού νερού σε όλο τον κόσμο. Αν και η εκτροφή μυδιών φαίνεται πολλά υποσχόμενη, οι περιβαλλοντικές ανησυχίες θεωρούνται αμφισβητήσιμες. Η κλιματική αλλαγή παράγει μια άνευ προηγουμένου επίδραση στο θαλάσσιο περιβάλλον, η οποία μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην αλιεία και την υδατοκαλλιέργεια. Η πρόβλεψη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην παραγωγή θαλάσσιας υδατοκαλλιέργειας έχει καταστεί σημαντικό ερευνητικό έργο, το οποίο απαιτεί να λαμβάνονται υπόψη οι προκαταλήψεις και οι αβεβαιότητες που προκύπτουν από τα κλιματικά μοντέλα των ωκεανών στις παράκτιες περιοχές, καθώς και να λαμβάνονται υπόψη στρατηγικές διαχείρισης πολιτισμού. (Santos et al., 2021)

Στο παρόν εκπόνημα επιχειρείται η περιβαλλοντική αξιολόγηση ολόκληρου του τομέα των μυδιών από μια προσέγγιση Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής. Η αξιολόγηση κύκλου ζωής (LCA) είναι μια μεθοδολογία για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που σχετίζονται με όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός εμπορικού προϊόντος ή υπηρεσιών από την εξόρυξη και την επεξεργασία των πρώτων υλών έως και την ανακύκλωση τους. Ειδικότερα, αποτελεί μια τεχνική για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών πτυχών και των πιθανών επιπτώσεων που σχετίζονται με ένα προϊόν, μια διαδικασία ή μια υπηρεσία.

Λέξεις-Κλειδιά: *Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων, Υδατοκαλλιέργεια, Εκτροφή Μυδιών, Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής*

ABSTRACT

The environmental management of liquid waste from mechanical equipment facilities in combination with the investigation and study of mussel cultivation conditions are important factors for the sustainable development of mussel farming. The environmental management of liquid waste in mechanical equipment facilities seeks to reduce the negative environmental footprint of the waste produced by these facilities.

This includes the effective collection, treatment and disposal of waste, with the aim of reducing water and soil pollution, protecting the health of the population and ensuring the sustainability of ecosystems. At the same time, the investigation and study of the mussel cultivation conditions concerns the analysis and evaluation of the parameters that affect the development and production of the mussels. This study includes water conditions, water quality, temperature, food production, waste management and farming techniques applied. The combination of these two factors constitutes a necessary approach for the sustainable development of mussel farming. The environmental management of mechanical equipment installation wastewater ensures that mussel cultivation does not cause negative effects on the environment, while the investigation and study of cultivation conditions helps to improve the efficiency and sustainability of mussel farming. Overall, the integrated approach to the environmental management of liquid waste from mechanical equipment facilities combined with the investigation and study of mussel cultivation conditions promotes the sustainable development of mussel farming, combining environmental protection with efficient mussel production.

The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) attributes aquatic organisms harvested by an individual or body corporate owned by them throughout their rearing period to aquaculture, while aquatic organisms exploited by the public as a common property resource, with or without proper permits, are collected from fisheries. According to the FAO, aquaculture remains one of the fastest growing animal food production sectors worldwide. Farmed fish, crustaceans and mollusks provide an increasing part of the human food supply, supplementing and replacing

fisheries that are overfished or depleted in wild catches, and are of major economic importance in many countries.

In Greece, marine aquaculture is the largest aquaculture sector in terms of both volume and production value. Mussel farming, which has a long history in some European countries, is based on a variety of cultural techniques originally developed in different natural environments and has played a large role in meeting the increasing protein requirements of the human population. Mussel is the common name for members of several families of bivalve mollusks, which live in saltwater and freshwater habitats around the world. Although mussel farming looks promising, the environmental concerns are considered questionable. Climate change is producing an unprecedented impact on the marine environment, which may have significant implications for fisheries and aquaculture. Predicting the impacts of climate change on marine aquaculture production has become an important research task, requiring consideration of biases and uncertainties arising from ocean climate models in coastal areas, as well as culture management strategies. (Santos et al., 2021)

In this dissertation, the environmental assessment of the entire mussel sector is attempted from a Life Cycle Assessment approach. Life cycle assessment (LCA) is a methodology for assessing the environmental impacts associated with all stages of the life cycle of a commercial product or service from the extraction and processing of raw materials to their recycling. In particular, it is a technique for evaluating the environmental aspects and potential impacts associated with a product, process or service.

Keywords: *Liquid Waste Management, Aquaculture, Mussel Farming, Life Cycle Assessment*

Κεφάλαιο 1^ο ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σύνδεση μεταξύ της περιβαλλοντικής διαχείρισης υγρών αποβλήτων εγκαταστάσεων μηχανολογικού εξοπλισμού και της μελέτης των συνθηκών της καλλιέργειας των μυδιών έχει να κάνει με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και την αειφορία της μυδοκαλλιέργειας.

Η μυδοκαλλιέργεια είναι μια δραστηριότητα που ασχολείται με την εκτροφή μυδιών για εμπορικούς σκοπούς. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας των μυδιών, χρησιμοποιούνται διάφοροι μηχανολογικοί εξοπλισμοί, όπως πλωτές εκτάσεις μυδοκαλλιέργειας, αντλίες, δίκτυα και δεξαμενές. Οι διαδικασίες καλλιέργειας μπορούν να προσαρμοστούν και να βελτιστοποιηθούν μελετώντας τις συνθήκες καλλιέργειας των μυδιών, όπως η ποιότητα του νερού, η θερμοκρασία, η αλληλεπίδραση με το φυσικό περιβάλλον και τις κλιματικές συνθήκες. Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί η μέγιστη παραγωγικότητα με την ελάχιστη περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Η περιβαλλοντική διαχείριση των αποβλήτων αποτελεί σημαντικό μέρος της μυδοκαλλιέργειας, καθώς η διαχείριση των υγρών αποβλήτων είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της υγείας των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων διαχείρισης των υγρών αποβλήτων μπορεί να περιλαμβάνει την επεξεργασία των αποβλήτων για τη μείωση της ρύπανσης, την ανακύκλωση και την ανακατάληψη των υλικών, καθώς και τη συμμόρφωση προς τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Η ένταξη της περιβαλλοντικής διαχείρισης υγρών αποβλήτων εγκαταστάσεων μηχανολογικού εξοπλισμού με τη μελέτη των συνθηκών καλλιέργειας των μυδιών ενισχύει την αειφορία και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα της μυδοκαλλιέργειας, διασφαλίζοντας την προστασία του περιβάλλοντος και τη διατήρηση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων για τις μελλοντικές γενεές.

Τα τελευταία χρόνια, η παγκόσμια ζήτηση αυξάνεται συνεχώς, ενθαρρύνοντας με αυτόν τον τρόπο την ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας. Ενώ η παραγωγή της αλιείας έχει επιβραδυνθεί, λόγω υπερεκμετάλλευσης των ιχθυοαποθεμάτων, η υδατοκαλλιέργεια είναι σε συνεχή ανάπτυξη λόγω της πληθυσμιακής αύξησης. Ωστόσο, η βιωσιμότητα αποτελεί ένα βασικό ζήτημα για περαιτέρω επέκταση του τομέα της υδατοκαλλιέργειας,

ο οποίος απαιτεί ολοκληρωμένη αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των θαλασσινών συστημάτων παραγωγής. Η πίεση στους φυσικούς πόρους, όπως το νερό, η ενέργεια, η απώλεια βιοποικιλότητας, η αλλαγή χρήσης γης, η εισαγωγή αλλόχθων ειδών, η μετάδοση ασθενειών στα άγρια αποθέματα, καθώς και η επισιτιστική ανασφάλεια, θα μπορούσαν, να συμπεριληφθούν στον μακρύ κατάλογο των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων. Επιπλέον, εξωτερικές εισροές, όπως λιπάσματα, ζωοτροφές, αντιβιοτικά και πρόσθετα, που χρησιμοποιούνται ευρέως στη σύγχρονη υδατοκαλλιέργεια, φτάνουν στο νερό και ως οργανικά φορτία, οδηγώντας σε πιθανή εξάντληση της ποιότητας του νερού που μπορεί να επηρεάσει τα αυτόχθονα είδη (Folke & Kautsky, 1992). Σήμερα, περισσότερο από το 40% της παραγωγής υδατοκαλλιέργειας εξαρτάται από βιομηχανικές ζωοτροφές με ένα μεγάλο μέρος να προέρχεται από θαλάσσια και παράκτια οικοσυστήματα, με αποτέλεσμα την περαιτέρω επιβάρυνση του αποθέματος άγριων ψαριών. Από την άλλη πλευρά, η μετάβαση σε είδη που έχουν χαμηλότερη θέση στον τροφικό ιστό και επομένως δεν χρειάζονται ιχθυάλευρα ως τροφή ή καλύτερα, δεν χρειάζονται καθόλου τροφή, όπως τα δίθυρα μαλάκια, είναι είδη ενδιαφέροντος για τις υδατοκαλλιέργειες. Στην πραγματικότητα, τα οστρακοειδή είναι μία από τις καλύτερες επιλογές για την παραγωγή βιώσιμων τροφίμων. Σε σύγκριση με άλλα υδατοκαλλιεργούμενα είδη ψαριών και φυκιών, τα δίθυρα που τρέφονται με το φιλτράρισμα του νερού έχουν χαμηλότερες απαιτήσεις και κατά συνέπεια, χαμηλότερες επιπτώσεις στα παράκτια οικοσυστήματα (Aderson et al., 2017).

Η παραγωγή μυδιών που αναφέρεται ότι γίνεται σε ξύλινους πασσάλους στη Γαλλία από το 1235, ήταν το πρώτο παράδειγμα υδατοκαλλιέργειας δίθυρων στην Ευρώπη. Έκτοτε, η μυδοκαλλιέργεια γνώρισε μεγάλη ανάπτυξη στον συνολικό ευρωπαϊκό παράκτιο χώρο (Prou & Goulletquer, 2002).

Τα δίθυρα οστρακοειδή μπορούν να θεωρηθούν ως ένα είδος «πράσινης υδατοκαλλιέργειας». Καλλιεργούνται ή εκτρέφονται σε αδειοδοτημένες περιοχές, πιστοποιημένες για την απουσία ή πολύ περιορισμένη παρουσία χημικών ουσιών και τον κίνδυνο παθογόνων, παρέχουν μια ασφαλή, θρεπτική και υγιεινή πηγή τροφής. Ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της υδατοκαλλιέργειας των διθύρων είναι συνήθως

χαμηλότερος από όλες τις άλλες μορφές παραγωγής κρέατος ή ψαριών και από αρκετές γεωργικές καλλιέργειες λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, τη χρήση γης, τη χρήση γλυκού νερού και το δυναμικό ευτροφισμού ανά μονάδα πρωτεΐνης (Suplicy, 2018). Πρόσφατα, η αγορά αναγνωρίζει αυτήν την προστιθέμενη αξία, με αυξανόμενη απαίτηση για τα κύρια είδη μαλακίων (στρείδια, μύδια, μύδια και χτένια). Η μυδοκαλλιέργεια είναι μια μορφή υδατοκαλλιέργειας που έχει αποδειχθεί, ότι έχει πολλά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις ιχθυοκαλλιέργειες.

Λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία του τομέα της μυδοκαλλιέργειας και το μεγάλο ενδιαφέρον για τη βιωσιμότητά του, αξιολογείται για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της η Αξιολόγηση του Κύκλου της Ζωής τους (Life Cycle Assessment - LCA). Αποτελεί μία μέθοδο, τυποποιημένη από τον Διεθνή Οργανισμό Προτύπων, η οποία χρησιμοποιείται συχνά για τη σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από διάφορα είδη προϊόντων συμπεριλαμβανομένων των τροφίμων και καθιστά δυνατό τον ποσοτικό προσδιορισμό του συνολικού περιβαλλοντικού αντίκτυπου ενός προϊόντος και λαμβάνει υπόψη όλα τα στάδια στην αλυσίδα παραγωγής (ISO, 2006a). Η LCA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση μιας ποσοτικής αξιολόγησης που παράγει σαφείς δείκτες βιωσιμότητας και επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μελετών. Μια αξιολόγηση του κύκλου ζωής μπορεί, να υπογραμμίσει τις συγκεκριμένες διαδικασίες, που είναι υπεύθυνες για σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών, της ναυτιλίας και την αγορά (Traverso et al., 2012). Στην πραγματικότητα, τα θαλασσινά είδη μπορούν πλέον να θεωρηθούν ως ένα από τα πιο εμπορεύσιμα προϊόντα παγκοσμίως. Η συχνά μεγάλη απόσταση μεταξύ του τόπου παραγωγής ενός προϊόντος και του τόπου που καταναλώνεται θα μπορούσε να συμπεριληφθεί ως βασική μεταβλητή για να κριθεί εάν μια παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων είναι βιώσιμη ή όχι. Οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αποδεικτικά στοιχεία που συμβάλλουν σημαντικά στις επιπτώσεις της υδατοκαλλιέργειας, προκειμένου να διευκολυνθούν οι κανονισμοί και η χάραξη μιας κοινής πολιτικής (Cao et al., 2013).

1.1 Περιβαλλοντική Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων

1.1.1 Νερό και Ποιότητα Ζωής

Το νερό αποτελεί ζωτικό στοιχείο για την ύπαρξη ζωής και είναι ουσιώδες για τη διατήρηση όλων των οργανισμών στον πλανήτη μας. Είναι μια χημική ουσία απαραίτητη για τη ζωή και θεωρείται το κύριο συστατικό των υγρών που υπάρχουν στη γη. Το νερό και η ποιότητα ζωής συνδέονται άρρηκτα. Η ποιότητα του νερού, που καταναλώνουμε και χρησιμοποιούμε έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία, την ευημερία και την ποιότητα ζωής μας. Το νερό χρησιμοποιείται για πολλούς σκοπούς, όπως για την κατανάλωση, την υγιεινή, τον καθαρισμό, την παραγωγή τροφίμων, τη γεωργία, τη βιομηχανία και τον τουρισμό. Η ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται σε αυτές τις δραστηριότητες επηρεάζει την υγεία, την υγιεινή και την ασφάλεια του πληθυσμού.

Επιπλέον, οι υδάτινοι πόροι συμβάλλουν στη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος και της βιοποικιλότητας. Υγιή οικοσυστήματα υδάτων (ποταμοί, λίμνες και υδροβιότοποι) είναι σημαντικά για τη διατήρηση της υδρολογικής ισορροπίας, τη βιολογική παραγωγή και τη διατήρηση της ποιότητας του νερού. Γίνεται επομένως αντιληπτό, ότι η πρόσβαση σε καθαρό, ασφαλές και προσιτό νερό είναι θεμελιώδους σημασίας για τη διασφάλιση της υγείας και της ευεξίας του ανθρώπου (Pearson, 1999).

1.1.2 Διαχείριση υδάτινων πόρων

Οι υδάτινοι πόροι αναφέρονται στις φυσικές πηγές νερού, που είναι διαθέσιμες στη γη. Περιλαμβάνουν όλες τις μορφές νερού που βρίσκονται στη γη, όπως ποτάμια, λίμνες, υπόγεια ύδατα, πηγές και παγετώνες. Θεωρούνται απαραίτητοι για την ύπαρξη ζωής και αποτελούν έναν ανεκτίμητο φυσικό πόρο. Ωστόσο, οι υδάτινοι πόροι είναι περιορισμένοι και αντιμετωπίζουν πολλές πιέσεις. Παγκοσμίως, υπάρχουν περιοχές με έλλειψη ύδατος, όπου η ζήτηση υπερβαίνει την προσφορά. Επιπλέον, η αλλαγή του κλίματος, η ανθρώπινη δραστηριότητα και η ρύπανση έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα και τη διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων. Η αειφόρος διαχείριση των υδάτινων πόρων είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας και της διαθεσιμότητας του νερού για όλες τις χρήσεις. Αυτό περιλαμβάνει την προστασία των

υδατικών οικοσυστημάτων, την αποτελεσματική χρήση των υδάτινων πόρων, την ανακύκλωση - επαναχρησιμοποίηση του νερού και τη δίκαιη πρόσβαση στο νερό για όλους.

Η διαχείριση υδάτινων πόρων αναφέρεται στο σύνολο των δραστηριοτήτων και μέτρων που αναλαμβάνονται για τη βιώσιμη αξιοποίηση, προστασία, διατήρηση και αειφόρο διαχείριση αυτών. Η διαχείριση περιλαμβάνει την αξιολόγηση των υδρολογικών συνθηκών, την πρόβλεψη των υδρολογικών αναγκών, την ανάπτυξη πολιτικών και νομοθεσιών για την προστασία και διαχείριση των υδάτινων πόρων, την εφαρμογή τεχνικών και τεχνολογιών για την εξοικονόμηση και αειφόρο χρήση του νερού, την ανάπτυξη υδατικών υποδομών, την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού και την ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού για τα ζητήματα των υδάτινων πόρων. Η διαχείριση υδάτινων πόρων αποσκοπεί στην αποτελεσματική και αειφόρο χρήση του νερού, την προστασία των υδατικών πόρων και τη διασφάλιση της βιώσιμης ανάπτυξης και ευημερίας των ανθρώπων και του περιβάλλοντος (Καλλέργης, 2001).

1.1.3 Εννοιολογική Προσέγγιση Υγρών Αποβλήτων

Η εννοιολογική προσέγγιση των υγρών αποβλήτων αποσκοπεί στην κατανόηση της φύσης και της σημασίας των υγρών αποβλήτων από μια ευρύτερη προοπτική. Αναλύει τον τρόπο με τον οποίο δημιουργούνται, επεξεργάζονται και επηρεάζουν το περιβάλλον και την κοινωνία. Τα υγρά απόβλητα αναφέρονται σε οποιοδήποτε υγρό υλικό που παράγεται ως απόρριμμα από διάφορες δραστηριότητες και διεργασίες. Τα ρευστά απόβλητα, που αποτελούνται από λύματα και οικιακά λύματα, ή επεξεργασμένο νερό, ή άλλα υγρά, παράγονται από βιομηχανική δραστηριότητα. Αυτά τα απόβλητα μπορεί να περιέχουν ουσίες ή οργανισμούς που έχουν δυνητικά αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, επομένως η αποτελεσματική διαχείρισή τους είναι ζωτικής σημασίας.

Μπορεί, να προέρχονται από πολλούς διαφορετικούς τομείς, όπως η βιομηχανία, η υγειονομική περίθαλψη, οι κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις, οι ναυτιλιακές

δραστηριότητες και οι γεωργικές δραστηριότητες. Παραδείγματα υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν:

- 1) **Βιομηχανικά απόβλητα:** Πετρελαϊκά προϊόντα, χημικά απόβλητα, λύματα επεξεργασίας μετάλλων, λύματα προσαρμοσμένης κατασκευής.
- 2) **Ιατρικά απόβλητα:** Επικίνδυνα φαρμακευτικά απόβλητα, μολυσμένα βιολογικά υλικά, χημικά και ραδιενεργά υλικά που προέρχονται από ιατρικές δραστηριότητες.
- 3) **Λύματα και υγρά απόβλητα από εκτροφή ζώων:** Λύματα από κτηνοτροφικές μονάδες, υγρά απόβλητα από εκτροφή ζώων.
- 4) **Υγρά απόβλητα από ναυτιλία:** Λύματα πλοίων, πετρελαϊκά απόβλητα, χημικά απόβλητα από ναυτιλιακές δραστηριότητες.

Τα υγρά απόβλητα αναφέρονται σε απόβλητα υλικά που εμφανίζονται με τη μορφή υγρής ύλης. Επιπρόσθετα, μπορεί να παρουσιάζουν διάφορα επίπεδα επικινδυνότητας και πρέπει, να διαχειρίζονται σύμφωνα με τους κανονισμούς και τις νομοθεσίες, που ισχύουν στην κάθε περιοχή. Η διαχείριση των απορριμμάτων και η σωστή διάθεση των υγρών αποβλήτων είναι σημαντικές για τη διατήρηση της ασφάλειας του περιβάλλοντος και των διαδικασιών παραγωγής. Τα υγρά απόβλητα μπορεί να γίνουν ιδιαίτερα επικίνδυνα όταν δεν αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά, καθώς μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα λόγω της ικανότητάς τους να εξαπλώνονται γρήγορα και να μολύνουν μεγάλες περιοχές. Τα απόβλητα μπορούν να εμφανιστούν με πολλές μορφές και απαιτούν ειδικές μεθόδους διάθεσης για την εξασφάλιση της ασφάλειας και την πρόληψη της μόλυνσης. Η αποτελεσματική διαχείριση των υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει τη συλλογή, τη μεταφορά, την αποθήκευση, την επεξεργασία και την απόρριψη τους με τρόπο που μειώνει τον κίνδυνο για το περιβάλλον και την υγεία (Beiras, 2018).

1.1.4 Μέθοδοι Διαχείρισης Υγρών Αποβλήτων

Τα υγρά απόβλητα είναι ένα αναδυόμενο πρόβλημα, λόγω της ικανότητάς τους να εισέρχονται σε λεκάνες απορροής, να μολύνουν το έδαφος και το πόσιμο νερό, όταν χειρίζονται και απορρίπτονται ακατάλληλα. Ασθένειες όπως η χολέρα, η πανώλη, η φυματιώδης ηπατίτιδα καθώς και η διφθερίτιδα είναι πολύ συχνές σε μέρη, όπου τα μη

επεξεργασμένα απόβλητα επαναχρησιμοποιούνται και μπορεί, να είναι εξαιρετικά επικίνδυνα με την πάροδο του χρόνου. Κάτι που μπορεί να δημιουργήσει κινδύνους για τη δημόσια υγεία καθώς και μείζον πρόβλημα για τις εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης. Επομένως, πρέπει να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την απόρριψη ακατέργαστων υλικών και λυμάτων για να διατηρούνται ασφαλείς και να αποφεύγεται η μόλυνση του επιτραπέζιου νερού.

Η διαχείριση υγρών αποβλήτων είναι ένας άλλος σημαντικός τομέας διαχείρισης αποβλήτων, ο οποίος απαιτεί σαφείς παρεμβάσεις των αρχών για τη σωστή διαχείριση. Αν και η βλάβη, που προκαλείται από την έκθεση σε άχρηστα υλικά, καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, συνήθως τα υγρά απόβλητα είναι πιο τοξικά από τα στερεά απόβλητα λόγω της δυνατότητας ευκολότερης πρόσληψης από τον ανθρώπινο οργανισμό. Επιπλέον, λόγω της ρευστής φύσης τους, είναι συχνά δύσκολο να διαχειρίζονται και να επεξεργάζονται υγρά απόβλητα χωρίς την παρέμβαση εργαλείων και μηχανισμών. Η μείωση της πηγής υγρών αποβλήτων απαιτεί εγκατάσταση ενός συστήματος με εγκαταστάσεις επεξεργασίας πολλαπλών στρωμάτων (Al Yaqout, 2003). Δυστυχώς, πολλές από τις αναπτυσσόμενες χώρες υστερούν στην υιοθέτηση κατάλληλων πολιτικών και τεχνικών μέσων για τη βιώσιμη διαχείριση των υγρών αποβλήτων τους. Συνειδητοποιώντας την τεράστια ποικιλία και την αυξανόμενη ποσότητα των παραγόμενων υγρών αποβλήτων, είναι απαραίτητο να γίνουν κατάλληλες μετρήσεις για την ελαχιστοποίηση των πηγών αποβλήτων υγρών αποβλήτων (Verma, 2021).

Η διαχείριση υγρών αποβλήτων, που αποτελεί αναπόσπαστο μέλημα τόσο της κυβέρνησης όσο και των μη κυβερνητικών φορέων, απαιτεί τόσο παρέμβαση κατάλληλης εφαρμογής πολιτικής όσο και τεχνολογική πρόοδο για τη μείωση των τρομερών επιπτώσεων των ακατάλληλων στρατηγικών διαχείρισης υγρών αποβλήτων σε άτομα και στο περιβάλλον. Υπάρχουν πολυεπίπεδοι κίνδυνοι που ενέχονται σε ολόκληρο τον κύκλο της διαχείρισης υγρών αποβλήτων και ιδιαίτερα κατά τη συλλογή, τη μεταφορά και τη διάθεση των απορριμμάτων, οι κίνδυνοι είναι υψηλότεροι.

Οι επιπτώσεις δεν είναι πανομοιότυπες για διαφορετικά είδη υγρών αποβλήτων. Για παράδειγμα, μεταξύ πολλών διαφορετικών τύπων υγρών αποβλήτων, τα ραδιενεργά

υγρά απόβλητα θεωρούνται επί του παρόντος ως μια πολύ επιβλαβής κατηγορία υγρών αποβλήτων. Ένας άλλος σημαντικός τύπος κατηγορίας υγρών αποβλήτων, τα κλινικά υγρά απόβλητα, συχνά απορρίπτονται στο αποχετευτικό σύστημα χωρίς κανένα είδος επεξεργασίας που οδηγεί σε έκθεση σε επικίνδυνες χημικές ουσίες (Abdulla et al., 2008). Επομένως, για να μειωθεί η έκθεση σε τέτοιες επιβλαβείς χημικές ουσίες, είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί η επεξεργασία των απορριμμάτων. Από αυτή την άποψη, οι σκοποί διαφορετικών μονάδων επεξεργασίας καθορίζονται από τη διαθεσιμότητα εγκαταστάσεων επεξεργασίας αποβλήτων. Σε πολλές περιπτώσεις, η προστασία του περιβάλλοντος είναι ο κύριος σκοπός κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων. Για το λόγο αυτό, τα απόβλητα υφίστανται επεξεργασία σε ένα ορισμένο επίπεδο, έτσι ώστε ορισμένοι δείκτες να βρίσκονται σε ασφαλές εύρος για την οικολογία και το περιβάλλον.

Αν και η διαχείριση υγρών αποβλήτων διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από τους διαφορετικούς τύπους παραγόμενων αποβλήτων, υπάρχουν ορισμένα κοινά συνιστάμενα βασικά βήματα που πρέπει να εφαρμοστούν για διάφορες πρωτοβουλίες διαχείρισης υγρών αποβλήτων. Σε αντίθεση με τη διαχείριση στερεών αποβλήτων όπου ο διαχωρισμός των αποβλήτων είναι ένα σημαντικό βήμα, η διαχείριση υγρών αποβλήτων απαιτεί φιλτράρισμα αντί για διαχωρισμό αποβλήτων. Στη συνέχεια, με βάση τις διαθέσιμες εγκαταστάσεις της μονάδας επεξεργασίας απορριμμάτων, πραγματοποιούνται διαφορετικές φυσικές, χημικές και βιολογικές επεξεργασίες. Η διαχείριση υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει διάφορες μεθόδους και τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματική και ασφαλή διαχείριση των υγρών αποβλήτων.

Ορισμένες από τις κύριες μεθόδους διαχείρισης υγρών αποβλήτων θεωρούνται οι εξής:

- 1) Συγκέντρωση και απομάκρυνση:** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει τη συγκέντρωση των υγρών αποβλήτων από διάφορες πηγές και την απομάκρυνσή τους από την παραγωγική διαδικασία ή τον χώρο όπου παράγονται. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω της χρήσης δεξαμενών συγκέντρωσης ή συστημάτων αποχέτευσης που συνδέονται με τις πηγές παραγωγής.

- 2) **Επεξεργασία:** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων με σκοπό τη μείωση του όγκου τους, την απομάκρυνση επικίνδυνων ουσιών, τη βελτίωση της ποιότητας του νερού ή την ανάκτηση αξίας από τα απόβλητα. Οι μέθοδοι επεξεργασίας μπορεί να περιλαμβάνουν φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες, όπως οι επεξεργασίες απόσταξης, τα φυσικοχημικά καθαριστικά, οι βιολογικοί καθαρισμοί και οι μέθοδοι ανακύκλωσης.
- 3) **Ασφαλής αποθήκευση:** Η ασφαλής αποθήκευση των υγρών αποβλήτων αποτελεί σημαντικό μέρος της διαχείρισης. Αυτή περιλαμβάνει την αποθήκευση των αποβλήτων σε κατάλληλα δοχεία ή δεξαμενές, με την τήρηση όλων των προδιαγραφών ασφαλείας και των περιβαλλοντικών κανονισμών.
- 4) **Διάθεση:** Η διάθεση των υγρών αποβλήτων αναφέρεται στην τελική τους απόρριψη ή ανακύκλωση. Αυτή περιλαμβάνει την απόρριψη σε εγκεκριμένες εγκαταστάσεις αποθήκευσης ή την ανακύκλωση των υλικών που περιέχουν τα απόβλητα για να αξιοποιηθούν ξανά.
- 5) **Επιθεώρηση και έλεγχος:** Οι μέθοδοι επιθεώρησης και ελέγχου χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της συμμόρφωσης με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και την αξιολόγηση της απόδοσης των συστημάτων διαχείρισης υγρών αποβλήτων. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την επιθεώρηση των εγκαταστάσεων, τη λήψη δειγμάτων για ανάλυση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Αυτές αποτελούν μερικές από τις κύριες μεθόδους διαχείρισης υγρών αποβλήτων. Οι πρακτικές και οι μέθοδοι, που χρησιμοποιούνται, εξαρτώνται από τη φύση των αποβλήτων, τους τοπικούς κανονισμούς και τις βέλτιστες περιβαλλοντικές πρακτικές (Verma, 2021).

1.1.5 Διαδικασία Απόρριψης Υγρών Αποβλήτων

Η διαδικασία απόρριψης υγρών αποβλήτων είναι μια σειρά διαδικασιών που ακολουθούνται για να απορριφθούν ασφαλώς και περιβαλλοντικά υπεύθυνα τα υγρά απόβλητα. Η διαδικασία απόρριψης διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του υγρού αποβλήτου και τις τοπικές κανονιστικές απαιτήσεις.

Τα βασικά βήματα που μπορούν να περιλαμβάνονται στη διαδικασία απόρριψης υγρών αποβλήτων περιλαμβάνουν τα εξής:

- 1) **Αξιολόγηση των αποβλήτων:** Η πρώτη διαδικασία είναι η αξιολόγηση του υγρού αποβλήτου για να καθορίσετε τον τύπο του και τον βαθμό επικινδυνότητάς του. Αυτό είναι σημαντικό για να επιλέξετε τη σωστή μέθοδο απόρριψης.
- 2) **Συγκέντρωση και αποθήκευση:** Τα υγρά απόβλητα συγκεντρώνονται σε ειδικά δοχεία ή δεξαμενές αποθήκευσης που σχεδιάζονται για να αντέχουν τον τύπο του υγρού αποβλήτου και να αποτρέπουν διαρροές ή διαρροές στο περιβάλλον.
- 3) **Επεξεργασία:** Ορισμένα υγρά απόβλητα υπόκεινται σε επεξεργασία πριν από την απόρριψή τους. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει διάφορες διαδικασίες όπως διάσπαση, ανακύκλωση, απομόνωση τοξικών συστατικών ή μετασχηματισμός σε μη επικίνδυνα προϊόντα.
- 4) **Διάθεση:** Ο τρόπος διάθεσης των υγρών αποβλήτων εξαρτάται από τον τύπο τους και τις νομικές απαιτήσεις. Ορισμένα υγρά απόβλητα μπορούν να διατίθενται σε ειδικούς χώρους χωματερών, ενώ άλλα μπορεί να υπόκεινται σε ειδικές μεθόδους διάθεσης, όπως ειδικές εγκαταστάσεις καύσης ή αποτέφρωσης.
- 5) **Επαλήθευση της συμμόρφωσης:** Σε πολλές περιπτώσεις, η διάθεση υγρών αποβλήτων υπόκειται σε κανονιστικούς περιορισμούς. Οι εταιρείες και οι οργανισμοί που απορρίπτουν υγρά απόβλητα πρέπει να επαληθεύουν πως έχουν τηρήσει τους κανονισμούς και προδιαγραφές για την ασφαλή διάθεση τους.

Είναι σημαντικό, να τηρούνται αυστηρά οι κανονισμοί και οι πρακτικές για τη διάθεση υγρών αποβλήτων, προκειμένου να προστατευθεί το περιβάλλον, η υγεία του ανθρώπου και της κοινότητας.

1.1.6 Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης Υγρών Αποβλήτων

Η Περιβαλλοντική Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων Εγκαταστάσεων Μηχανολογικού Εξοπλισμού αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο που επικεντρώνεται στη διαχείριση των υγρών αποβλήτων που παράγονται από μηχανολογικούς εξοπλισμούς. Οι εγκαταστάσεις μηχανολογικού εξοπλισμού, όπως εργοστάσια και βιομηχανικές μονάδες, συχνά παράγουν υγρά απόβλητα. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η αποτελεσματική διαχείριση αυτών των υγρών αποβλήτων είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας.

Η περιβαλλοντική αυτή διαχείριση περιλαμβάνει τη συλλογή, τη μεταφορά, την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη διάθεση των αποβλήτων με τρόπο που μειώνει τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Οι μηχανολογικές εγκαταστάσεις συχνά υπόκεινται σε νομοθετικούς κανονισμούς και πρότυπα που πρέπει να τηρούνται σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων τους. Οι εταιρείες πρέπει να εκπονούν πλάνα διαχείρισης αποβλήτων, να διαθέτουν κατάλληλο εξοπλισμό για την επεξεργασία των αποβλήτων και να διασφαλίζουν, ότι οι διαδικασίες τους συμμορφώνονται με τις περιβαλλοντικές προδιαγραφές. Στόχος της αποτελεί η ελαχιστοποίηση της παραγωγής αποβλήτων, η ανακύκλωση και η ανακατάληψη των υλικών όπου είναι εφικτό, καθώς και η ασφαλής διάθεση των υπολειμμάτων.

Η ορθή διαχείριση των αποβλήτων μηχανολογικού εξοπλισμού συμβάλλει στη διατήρηση των φυσικών πόρων, τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και τη βιωσιμότητα των βιομηχανιών. Επιπλέον, μπορεί να έχει οικονομικά οφέλη καθώς η ανακύκλωση και η μείωση των αποβλήτων μπορούν να μειώσουν το κόστος της διαχείρισης αποβλήτων και να προάγουν την αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων. Η περιβαλλοντική διαχείριση των αποβλήτων επιδιώκει την αποτελεσματική και ασφαλή επίβλεψη των υγρών αποβλήτων, που παράγονται από αυτές τις εγκαταστάσεις, με σκοπό τη μείωση των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον και την προστασία της υγείας του ανθρώπου. Τα υγρά απόβλητα σε εγκαταστάσεις μηχανολογικού εξοπλισμού αναφέρονται στις υγρές ουσίες που παράγονται και απορρίπτονται από τη λειτουργία των μηχανών, των εξοπλισμών και των διεργασιών σε αυτές τις εγκαταστάσεις.

Τα υγρά απόβλητα μπορούν να περιλαμβάνουν μια ευρεία γκάμα υγρών ουσιών, όπως:

- 1) Λάδια και λιπαντικά**
- 2) Υγρά ψυκτικά**
- 3) Χημικές ουσίες**
- 4) Υδραυλικά υγρά**
- 5) Απόβλητα καθαρισμού**

Οι εγκαταστάσεις μηχανολογικού εξοπλισμού παράγουν αυτά τα υγρά απόβλητα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Τα συστήματα περιβαλλοντικής

διαχείρισης υγρών αποβλήτων αποτελούν ένα πλαίσιο οργάνωσης και διαχείρισης των υγρών αποβλήτων σε εγκαταστάσεις μηχανολογικού εξοπλισμού. Αυτά τα συστήματα συμβάλλουν στην αποτελεσματική και αειφόρο διαχείριση των υγρών αποβλήτων, με στόχο τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την τήρηση των περιβαλλοντικών κανονισμών.

Ένα σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης υγρών αποβλήτων μπορεί να περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- 1) Πολιτική περιβαλλοντικής διαχείρισης:** Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει την καθορισμένη πολιτική και τις στρατηγικές της εγκατάστασης για τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των στόχων και των δεσμεύσεων της.
- 2) Οργανωτική δομή και αρμοδιότητες:** Ορίζει τις αρμοδιότητες και τις ευθύνες των διαφόρων μελών της εγκατάστασης σχετικά με τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων. Αυτό περιλαμβάνει την καθορισμένη δομή οργάνωσης, τη διοίκηση και την ανάθεση υπευθυνοτήτων.
- 3) Εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση:** Περιλαμβάνει εκπαιδευτικά προγράμματα και ευαισθητοποίηση του προσωπικού σχετικά με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις και τις ορθές πρακτικές διαχείρισης υγρών αποβλήτων.
- 4) Επισκόπηση των αποβλήτων:** Αναφέρεται στην αξιολόγηση και την καταγραφή των υγρών αποβλήτων που παράγονται από την εγκατάσταση, συμπεριλαμβανομένων των ποσοτήτων, των χαρακτηριστικών και των επικίνδυνων ιδιοτήτων τους.
- 5) Σχεδιασμός και εφαρμογή μέτρων πρόληψης και μείωσης:** Αυτό περιλαμβάνει τον σχεδιασμό και την υλοποίηση μέτρων που στοχεύουν στην πρόληψη και μείωση των υγρών αποβλήτων, όπως η βελτίωση της αποτελεσματικότητας χρήσης των πρώτων υλών και η εφαρμογή ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης.
- 6) Έλεγχος και επαλήθευση:** Περιέχει τον έλεγχο και την παρακολούθηση των διαδικασιών και των δεδομένων για να διασφαλίζεται η συμμόρφωση με τις περιβαλλοντικές προδιαγραφές και την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος διαχείρισης υγρών αποβλήτων.

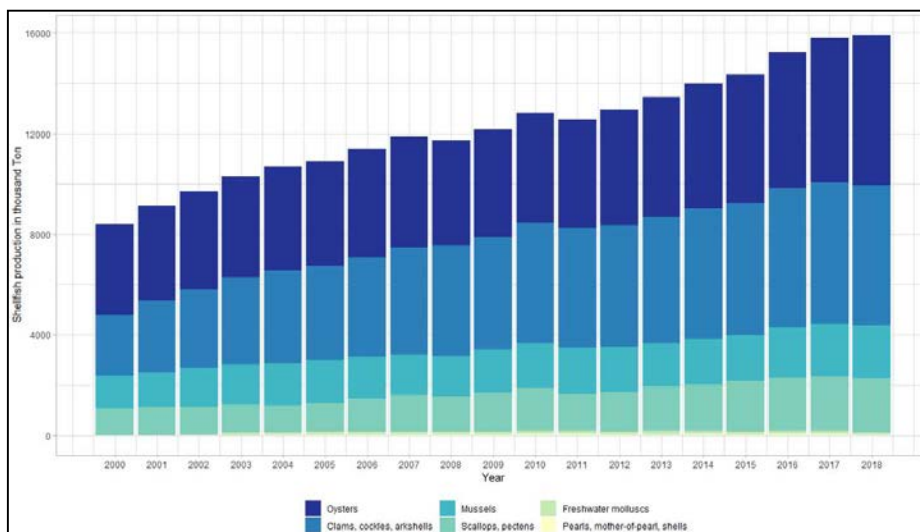
7) Επικοινωνία και ανάληψη ευθυνών: Αυτό αναφέρεται στην επικοινωνία με εμπλεκόμενα μέρη, όπως πελάτες, προμηθευτές, αρχές και το κοινό, καθώς και στην ανάληψη ευθυνών για τη διαχείριση των υγρών αποβλήτων και την προαγωγή βέλτιστων περιβαλλοντικών πρακτικών.

Η υλοποίηση ενός συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης υγρών αποβλήτων μπορεί, να γίνει σύμφωνα με διάφορα πιστοποιημένα πρότυπα, όπως το ISO 14001, που καθορίζει τις απαιτήσεις για ένα σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης (Verma, 2021).

1.2 Η Καλλιέργεια των Μυδιών

1.2.1 Εκτροφή των Μυδιών

Η παροχή της αυξανόμενης ζήτησης για τρόφιμα από τον ανθρώπινο πληθυσμό σε συνδυασμό με την παράλληλη διασφάλιση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας της παραγωγής τροφίμων είναι μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις, που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα. Τα είδη της υδατοκαλλιέργειας αύξησαν το μερίδιό τους στο σύνολο των θαλασσινών τροφίμων, που καταναλώνονται παγκοσμίως από 26% το 2000 σε 46% το 2018 (FAO 2020b). Αυτή η αύξηση μπορεί να αποδοθεί, μεταξύ άλλων, στην αυξημένη ζήτηση όχι μόνο για ανθρώπινη κατανάλωση αλλά και για παραπροϊόντα, που χρησιμοποιούνται σε διάφορες βιομηχανίες, π.χ. ζωοτροφές, καύσιμα, καλλυντικά, θρεπτικά προϊόντα και φαρμακευτικά προϊόντα (Naylor et al., 2021). Μεταξύ των πολλών ειδών που εκτρέφονται εμπορικά, τα δίθυρα οστρακοειδή γνώρισαν αύξηση της παγκόσμιας ετήσιας συγκομιδής τους άνω του 90% από 8,3 εκατομμύρια τόνους σε 15,9 εκατομμύρια τόνους μεταξύ 2000 και 2018 (FAO 2020b). Ειδικά τα μύδια έχουν σημειώσει τη μεγαλύτερη αύξηση στην παραγωγή σε σύγκριση με τα άλλα είδη οστρακοειδών. Η εκτροφή οστρακοειδών θεωρείται βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον σε σύγκριση με άλλα είδη υδατοκαλλιέργειας. Τα μύδια εκτρέφονται σε όλο τον κόσμο και είχαν αξία 4,5 δισεκατομμυρίων δολαρίων ΗΠΑ από συνολική παραγωγή 2,1 εκατομμυρίων τόνων το 2018. Η Κίνα παρήγαγε σχεδόν το ήμισυ αυτού του όγκου. Άλλες σημαντικές χώρες παραγωγής είναι η Χιλή και η Ισπανία, οι οποίες μεταξύ τους παρήγαγαν σχεδόν 650.000 τόνους το 2018.



Εικόνα 1. Παραγωγή οστρακοειδών από οικογένειες την περίοδο 2000–2018. Πηγή: FAO (2020)

Στην κίνηση προς τη βιώσιμη παραγωγή τροφίμων, προτείνεται η επέκταση της υδατοκαλλιέργειας χαμηλού τροφικού ως πιθανή οδός για την απόκτηση πολύ περισσότερης βιομάζας από τον ωκεανό, τόσο άμεσα για ανθρώπινη κατανάλωση όσο και έμμεσα ως συστατικά στις ζωοτροφές. Τα δίθυρα συνήθως (Εικ. 1), εκτρέφονται σε παράκτια ύδατα δίπλα σε κατοικημένες περιοχές και είναι παγκοσμίως ένας από τους μεγαλύτερους προμηθευτές τροφίμων για ανθρώπινη κατανάλωση εκτός θαλάσσιας καλλιέργειας (FAO, 2020). Η μυδοκαλλιέργεια χαρακτηρίζεται τοπικά από ένα πολύπλοκο σύστημα, όπου οι αρχαίες παραδόσεις έχουν επιβιώσει για μεγάλο χρονικό διάστημα σε συνδυασμό με σύγχρονες και αποτελεσματικές τεχνικές καλλιέργειας. Η διαδικασία μετασχηματισμού προς τις πρακτικές καλλιέργειας έλαβε χώρα με την εισαγωγή, το δεύτερο μισό της δεκαετίας του 1980, των αιωρούμενων παραγαδιών, του πιο διαδεδομένου συστήματος εκτροφής μυδιών στην Ιταλία και σε όλο τον κόσμο (Tamburini et al., 2020).

Η μυδοκαλλιέργεια εκτείνεται σε πολλές χώρες, σε εύκρατες και τροπικές περιοχές. Πραγματοποιούνται δύο κύριοι τύποι καλλιέργειας, α) καλλιέργεια βυθού και β) αιωρούμενη καλλιέργεια. Δεν παρέχεται συμπληρωματική τροφή και δεν χορηγούνται φάρμακα ή χημικά προϊόντα κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης. Τρέφονται φιλτράροντας κυρίως μικροσκοπικά φύκη, αλλά και ορισμένα οργανικά υπολείμματα

στο θαλασσινό νερό. Οι υδατοκαλλιέργειες εκτρεφόμενων μυδιών εντοπίζονται σε δια-παλιρροιακά και ρηχά υποπαλιρροϊκά περιβάλλοντα, καθώς και σε βαθύτερα, υπεράκτια ύδατα.

Υπάρχουν διάφορα συστήματα εκτροφής μυδιών, ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις κάθε εκτροφείου. Ορισμένα από τα κύρια συστήματα εκτροφής μυδιών περιλαμβάνουν:

- 1) **Συστήματα εκτροφής σε ανοικτή θάλασσα:** Σε αυτά τα συστήματα, τα μύδια εκτρέφονται σε ενυδρεία που είναι συνδεδεμένα με τη θάλασσα. Ειδικότερα, μπορεί να είναι απλά συρτάρια ή σειρές από σταθερά κλουβιά.
- 2) **Συστήματα εκτροφής σε παράκτιες λιμνοθάλασσες:** Σε αυτά τα συστήματα, η εκτροφή των μυδιών πραγματοποιείται σε παράκτιες περιοχές, όπου η θάλασσα εισέρχεται σε ένα σύστημα από κανάλια ή λίμνες. Εκτρέφονται στον βυθό του ενυδρείου και μεγαλώνουν σε φυσικές συνθήκες.
- 3) **Συστήματα εκτροφής σε εσωτερικούς χώρους:** Αυτά τα συστήματα είναι κλειστά ενυδρεία που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους, όπου τα μύδια εκτρέφονται υπό ελεγχόμενες συνθήκες, όπως θερμοκρασία, φωτισμός και τροφή. Αυτά τα συστήματα μπορούν να είναι ρυθμιζόμενες υδατοκαλλιέργειες ή υδροπονικά συστήματα (aquaponics).

Αυτά είναι μερικά από τα κύρια συστήματα εκτροφής μυδιών που χρησιμοποιούνται σήμερα. Κάθε σύστημα έχει τα πλεονεκτήματά του και τις ιδιαιτερότητές του και επιλέγεται ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες, τις απαιτήσεις του εκτροφέα και την εμπορική αξία των μυδιών. Γενικά, ο κύκλος εκτροφής ξεκινά το φθινόπωρο με τη συλλογή άγριων ατόμων τα οποία μπορούν να προσκολληθούν μέσω των ισχυρών βυσσαλικών τους νημάτων. Στη φάση ανάπτυξης του κύκλου εκτροφής τοποθετούνται σε σωληνοειδή πλαστικά, τα οποία είναι προσαρτημένα σε αιωρούμενα παραγάδια και διατηρούνται σε βάθος περίπου 2-3 m από τις σημαδούρες (Buck et al., 2010).

Οι εγκαταστάσεις μακράς γραμμής (longlines) αποτελούνται από μια σειρά κατακόρυφων προσανατολισμένων σχοινιών που συνδέονται σε παράλληλα καλώδια, τα οποία αιωρούνται από σημαδούρες που βρίσκονται στην επιφάνεια της θάλασσας.

Το σύστημα διατηρείται αγκυρωμένο στον πυθμένα με τσιμεντόλιθους. Εκτός από το σύστημα αγκύρωσης, τα κύρια στοιχεία αυτού του συστήματος είναι τα σχοινιά και οι σημαδούρες. Κάθε γραμμή έχει μήκος περίπου 1000μ. για ένα σύνολο κατά μέσο όρο 6 (ο ακριβής αριθμός των γραμμών εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά ενός μεμονωμένου φυτού) παράλληλων μονάδων σε απόσταση 50μ. η μία από την άλλη (Tamburini et al., 2020). Καθώς τα μύδια μεγαλώνουν, η πυκνότητα και το βάρος γίνονται πολύ μεγάλα. Για να αποφευχθεί ο συνωστισμός που μπορεί να οδηγήσει σε βραδύτερη ανάπτυξη, κατά τη διάρκεια του κύκλου εκτροφής, απαιτούνται 2-3 αφαιρέσεις. Σε αυτή τη διαδικασία τα μύδια συγκομίζονται και επανατοποθετούνται σε δίχτυα διπλού πλέγματος. Αυτή η λειτουργία διασφαλίζει ότι τα μύδια προσκολλώνται στη βέλτιστη πυκνότητα που παρέχει την καλύτερη κατάσταση ανάπτυξης, με αποτέλεσμα τα μύδια να έχουν πιο ομοιόμορφο μέγεθος και μεγαλύτερη απόδοση.

Στα τέλη Μαΐου-Ιουνίου του επόμενου έτους, τα μύδια συλλέγονται και υποβάλλονται σε διάφορες διεργασίες όπως διαχωρισμό των μυδιών μεταξύ τους και καθαρισμό των επιφανειών του κελύφους. Το εμπορικό μέγεθος είναι 6–7εκ.

1.2.2 Μορφολογία, ανατομία, βιολογία & διατροφικές απαιτήσεις Μυδιών

Τα μύδια έχουν ιδιαίτερη θρεπτική αξία, αντιπροσωπεύοντας μια πολύτιμη πηγή τροφής και επομένως περιζήτητα παγκοσμίως. Το κρέας τους είναι πλούσιο σε πρωτεΐνες, λιπίδια, υδατάνθρακες, ιχνοστοιχεία, ένζυμα και βιταμίνες. Η εποχιακή διακύμανση της βιοχημικής σύνθεσης των μυδιών έχει μελετηθεί, για να καθοριστεί η καλύτερη περίοδος συγκομιδής για να αξιοποιηθούν διάφορα βιολογικά ενεργά κλάσματα (Ferreira et al., 2007).

Η συνολική περιεκτικότητα σε ελεύθερα αμινοξέα φτάνει κατά μέσο όρο στο 0,7% στο νωπό κρέας, και από αυτά, το 40% αντιπροσωπεύεται από απαραίτητα αμινοξέα. Το φρέσκο κρέας μυδιών περιέχει την ίδια πρωτεΐνη υψηλής ποιότητας με το κόκκινο κρέας, αλλά έχει πολύ λιγότερα συνολικά λιπαρά, κορεσμένα λιπαρά και σχεδόν 25% λιγότερες θερμίδες. Η αφθονία των απαραίτητων αμινοξέων, βιταμινών και μετάλλων καθιστά το κρέας των μυδιών μια πολύτιμη λειτουργική τροφή για την ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος. Ως αποτέλεσμα, οι διατροφολόγοι

συνιστούν τη συμπερίληψη των θαλασσινών γενικά στις δίαιτες για την ενίσχυση της ανοσίας, ειδικά στο τρέχον επιδημιολογικό πλαίσιο σε συνδυασμό με την αύξηση της παγκόσμιας ρύπανσης και ακόμη και πολλά φάρμακα που επηρεάζουν το ανοσοποιητικό σύστημα (Chi et al., 2012).

Τα μύδια υπερέχουν στο θαλάσσιο περιβάλλον όσον αφορά τη βιοσύνθεση υδροδιαλυτών και λιποδιαλυτών βιταμινών. Αξιοσημείωτη είναι η παρουσία της ομάδας βιταμινών D, η οποία μπορεί να φτάσει έως και το 1% της ξηρής ουσίας και της βιταμίνης B₁₂. Ωστόσο, η μεταβλητότητα στη βιοχημική σύνθεση των μυδιών μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη διακύμανση της θρεπτικής αξίας και της γεύσης. Το μύδι είναι μια σημαντική διαιτητική πηγή πολυακόρεστων ω-3 λιπαρών οξέων, όπως το εικοσαπεντανοϊκό οξύ και το εικοσιδυεξανοϊκό οξύ: και τα δύο είναι ευεργετικά για την υγεία (Patterson et al., 2015). Τα τελευταία χρόνια, οι λειτουργικές ιδιότητες των λιπιδίων των μυδιών έχουν διερευνηθεί και λίγα συμπληρώματα διατροφής που βασίζονται σε εκχυλίσματα λιπιδίων μυδιών έχουν παρουσιαστεί στην αγορά (Calder, 2015). Τα απαραίτητα λιπαρά οξέα έχουν ευεργετικές επιδράσεις στην καρδιά και τα αιμοφόρα αγγεία.

Υπάρχουν πολλά είδη μυδιών, αλλά τέσσερα αντιπροσωπεύουν τη συντριπτική πλειοψηφία της εμπορικής προσφοράς στην Ευρώπη:

- 1) Το ***Mytilus edulis*** ή το μπλε μύδι είναι αυτό που υπάρχει στις ακτές του Ηνωμένου Βασιλείου. Είναι αρκετά μικρό και σπάνια υπερβαίνει τα 10εκ. σε μήκος. Το κέλυφος του μπλε μυδιού τείνει να είναι λεπτό και αρκετά εύθραυστο.
- 2) Το μεσογειακό μύδι ή ***Mytilus galloprovincialis*** αποτελεί ένα μεγαλύτερο είδος, που φτάνει εύκολα τα 15 εκατοστά και έχει πιο σκληρό κέλυφος. Προτιμά τα θερμότερα νερά και είναι το κυρίαρχο μύδι από τη βόρεια ακτή της Ισπανίας στη Μεσόγειο μέχρι τη Μαύρη Θάλασσα.
- 3) Τα μύδια από το δυτικό Ειρηνικό έχουν συχνά μια πράσινη χροιά κατά μήκος των ανοιγόμενων άκρων του κελύφους τους. Το μύδι της Νέας Ζηλανδίας, ***Perna canaliculus***, βρίσκεται κατά μήκος ολόκληρης της ακτής της Νέας Ζηλανδίας και υπάρχει μια μεγάλη γεωργική βιομηχανία συγκεντρωμένη στο βορρά. Πρόκειται για

ένα πολύ μεγαλύτερο μύδι από το ευρωπαϊκό είδος, που φτάνει τα 20 εκατοστά πριν τη συγκομιδή.

- 4) Το τέταρτο μύδι που είναι άμεσα διαθέσιμο στην Ευρώπη είναι το μύδι της Χιλής, *Mytilus chilensis*. είναι παρόμοιο σε μέγεθος με το μεσογειακό μύδι και είναι κυρίως διαδεδομένο στην περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανού.

Αυτά είναι μερικά από τα κοινά είδη μυδιών που εκτρέφονται. Υπάρχουν, ωστόσο, πολλά είδη μυδιών σε διάφορες περιοχές του κόσμου, καθώς η οικογένεια των Mytilidae περιλαμβάνει περισσότερα από 50 γένη και πολλές υποείδη. Κάθε είδος μυδιού διαθέτει μοναδικά χαρακτηριστικά και είναι προσαρμοσμένο στις συγκεκριμένες συνθήκες του περιβάλλοντος που διαβιεί.

1.2.3 Διαχείριση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιέργειας Μυδιών

Η μυδοκαλλιέργεια, γνωστή και ως υδατοκαλλιέργεια μυδιών ή οστρακοκαλλιέργεια, περιλαμβάνει την καλλιέργεια μυδιών σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα. Οι μυδοκαλλιέργειες συνδέονται άρρηκτα με το θαλάσσιο περιβάλλον και απαιτούν προσεκτική διαχείριση για να διασφαλιστεί η βιωσιμότητά τους. Η επίδραση των μυδοκαλλιεργειών στο θαλάσσιο περιβάλλον μπορεί να είναι ποικίλη και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η τοποθεσία, ο τρόπος εκτροφής και η διαχείριση των εκτροφέων. Ενώ η μυδοκαλλιέργεια θεωρείται γενικά ως μια βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον μορφή υδατοκαλλιέργειας σε σύγκριση με άλλους τύπους παραγωγής θαλασσινών, εξακολουθεί να έχει ορισμένες πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Τα μύδια δεσμεύουν άνθρακα από την ατμόσφαιρα κατά τη διαδικασία ανάπτυξης του κελύφους τους και στη συνέχεια αυτός ο άνθρακας απομακρύνεται οριστικά από την ατμόσφαιρα. Ωστόσο, όπως κάθε παραγωγή τροφίμων, η εκτροφή των μυδιών μπορεί να έχει ανεπιθύμητες επιπτώσεις εάν δεν γίνει με υπευθυνότητα. Για παράδειγμα, τα μύδια θα μπορούσαν, να είναι πολύ αποτελεσματικά στο φιλτράρισμα του νερού, αφαιρώντας τα θρεπτικά συστατικά από ένα οικοσύστημα πιο γρήγορα από ό,τι μπορεί να τα αναπληρώσει, αυτό είναι γνωστό ως υπέρβαση της οικολογικής ικανότητας μεταφοράς.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της καλλιέργειας των μυδιών ποικίλλουν ανάλογα με τις πρακτικές εκτροφής και τις τοπικές συνθήκες. Υπάρχει επιτακτική ανάγκη, να προστατευθεί η οικολογία των παράκτιων θαλάσσιων οικοτόπων, που χρησιμοποιούνται για ένα ολοένα αυξανόμενο φάσμα δραστηριοτήτων. Ειδικότερα, οι διαχειριστές αλιείας πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τόσο τα περιβαλλοντικά όσο και τα κοινωνικοοικονομικά ζητήματα στις παράκτιες περιοχές λόγω των περιβαλλοντικών αλλαγών που μπορεί να προκύψουν ως αποτέλεσμα των διαδικασιών καλλιέργειας και συγκομιδής που σχετίζονται με τη θαλάσσια καλλιέργεια. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κάθε σταδίου καλλιέργειας ποικίλλουν ανάλογα με το εν λόγω είδος και τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται. Ορισμένες από τις κύριες περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι οι εξής:

- 1) **Οι αλλαγές στην ποιότητα του νερού** θεωρείται μια από τις κύριες επιπτώσεις, καθώς η υπερβολική εκτροφή μυδιών σε μια περιοχή μπορεί, να οδηγήσει σε αύξηση των θρεπτικών ουσιών στο νερό, όπως τα νιτρικά ή φωσφορικά άλατα, με αποτέλεσμα την υπερβολική ανάπτυξη φυκιών ή την εμφάνιση αλγονοστοιχείων. Αυτό μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα του νερού και να επηρεάσει το οικοσύστημα.
- 2) Επιπρόσθετα, **οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα** είναι μια σημαντική επίπτωση. Τα μύδια απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα από το νερό κατά τη διάρκεια της διατροφής τους. Κατά τη διαδικασία της αναπνοής, απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα πίσω στο περιβάλλον. Η μαζική καλλιέργεια μυδιών μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, προκαλώντας πιθανώς αντίκτυπο στην οξύτητα των ωκεανών και στην αλλαγή του κλίματος.
- 3) Ακόμη, **οι αλλαγές στον βυθό** επηρεάζουν άμεσα την καλλιέργεια των μυδιών, καθώς οι δεξαμενές ή οι πλωτές εγκαταστάσεις εκτροφής μπορεί να επηρεάσουν τον βυθό της θαλάσσης ή της λίμνης όπου βρίσκονται. Η συγκέντρωση των μυδιών και οι υποβρύχιες κατασκευές μπορεί να οδηγήσουν στην αλλαγή της τοπογραφίας του βυθού και στη μείωση της βιοποικιλότητας σε αυτήν την περιοχή.
- 4) Τέλος, μια σημαντική περιβαλλοντική επίπτωση αποτελεί ο **αντίκτυπος** στα είδη. Ορισμένες πρακτικές εκτροφής, όπως η συγκέντρωση μυδιών σε μια περιοχή ή η

χρήση αλλόχθονων ειδών, μπορεί να έχουν αρνητικό αντίκτυπο στα τοπικά είδη. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε μέσω της ανταγωνιστικής αλληλεπίδρασης με φυσικά είδη, είτε μέσω της εισαγωγής ασθενειών ή επιβλαβών μικροοργανισμών από ξενικά είδη μυδίων. (Kaizer et al., 1998).

Είναι σημαντικό να τονιστεί, ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να μειωθούν με την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών εκτροφής και διαχείρισης. Αυτές μπορούν, να περιλαμβάνουν την περιορισμένη χρήση θρεπτικών ουσιών και φαρμάκων, τη διατήρηση εναλλακτικών περιβαλλοντικών λύσεων για τη διαχείριση των αποβλήτων και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας γύρω από τις εκτροφές μυδίων.

Συνολικά, η μυδοκαλλιέργεια απαιτεί την προσεκτική διαχείριση για την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η κύρια θετική περιβαλλοντική επίδραση της εκτροφής μυδίων είναι ότι τα θρεπτικά συστατικά απομακρύνονται από το θαλάσσιο οικοσύστημα κατά τη συγκομιδή των εκτρεφόμενων μυδίων. Η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών, μέσω της διήθησης του φυτοπλαγκτού και άλλων σωματιδίων, μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένες συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών και φυτοπλαγκτού στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα αυξημένη διαφάνεια του νερού. Οι βελτιωμένες συνθήκες φωτός μπορεί με τη σειρά τους να προάγουν την ανάπτυξη βενθικών μακροφυκών και να αυξήσουν τον συνολικό πλούτο των παράκτιων ειδών. Η εντατική εκτροφή μυδίων μπορεί επίσης, να έχει τοπικές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον λόγω της αναγέννησης των θρεπτικών συστατικών στη στήλη του νερού και μέσω της καθίζησης (π.χ. περιττώματα). Ο οργανικός εμπλουτισμός των ιζημάτων μπορεί να οδηγήσει σε συνθήκες υποξίας και απελευθέρωση θρεπτικών ουσιών από τα ιζήματα. Ο συνολικός περιβαλλοντικός αντίκτυπος των εκτροφείων μυδίων μπορεί να διαφέρει μεταξύ των τοποθεσιών και να αλλάζει με την πάροδο του χρόνου κατά τη διάρκεια του κύκλου παραγωγής. Οι αρνητικές επιπτώσεις της εκτροφής μυδίων μπορούν πιθανώς να αποφευχθούν ή να μειωθούν εάν επιλεγθεί μια τοποθεσία με καλά οξυγονωμένα ιζήματα.

Η έρευνα είναι δυνατόν, να συμβάλει στην ανάπτυξη πιο βιώσιμων μεθόδων εκτροφής μυδίων, που μειώνουν τον αντίκτυπο στο περιβάλλον. Η συνεργασία με ιδρύματα, ερευνητικά κέντρα και αρχές διαχείρισης προάγει τη βιώσιμη ανάπτυξη της

καλλιέργειας μυδιών και την ελαχιστοποίηση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Lozano et al., 2010).

1.2.4 Οι Καλλιέργειες των μυδιών σε διεθνές επίπεδο

Η παραγωγή τροφίμων των θαλάσσιων οικοσυστημάτων περιλαμβάνει διάφορους τύπους οργανισμών από τους οποίους τα μακροφύκη, τα ψάρια, τα καρκινοειδή και τα μαλάκια είναι τα σημαντικότερα. Η αύξηση της παραγωγής θαλάσσιων τροφίμων έχει αναγνωριστεί ως μια σημαντική λύση για την ικανοποίηση των αυξανόμενων απαιτήσεων πρωτεΐνης του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού στο μέλλον.

Η καλλιέργεια των μυδιών είναι διαδεδομένη σε παγκόσμιο επίπεδο και αποτελεί μια σημαντική δραστηριότητα σε πολλές χώρες. Η Κίνα θεωρείται ο μεγαλύτερος παραγωγός μυδιών στον κόσμο. Οι κύριες περιοχές καλλιέργειας περιλαμβάνουν την ανατολική ακτή της Κίνας, καθώς και τις επαρχίες Shandong, Jiangsu και Fujian. Η Ισπανία είναι ένας από τους μεγαλύτερους παραγωγούς μυδιών στην Ευρώπη. Οι περιοχές Galicia, Andalusia και Valencia είναι γνωστές για τις καλλιέργειες μυδιών. Οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν σημαντική καλλιέργεια μυδιών, ειδικά στις παράκτιες περιοχές. Η Χιλή είναι μια από τις χώρες με μεγαλύτερες εξαγωγές μυδιών στον κόσμο. Οι κύριες περιοχές καλλιέργειας περιλαμβάνουν τη νότια ακτή της Χιλής, όπως οι περιοχές Los Lagos και Aysén. Η Νέα Ζηλανδία έχει ανεπτυγμένη καλλιέργεια μυδιών, ειδικά στη βόρεια νήσο. Οι κύριες περιοχές καλλιέργειας περιλαμβάνουν το Hauraki Gulf και την περιοχή Marlborough Sounds. Η Γαλλία έχει σημαντική καλλιέργεια μυδιών, κυρίως στη Βρετάνη και τη Νορμανδία (Wijsman, et al., 2018). Αυτές είναι μερικές από τις χώρες που έχουν σημαντική παραγωγή και καλλιέργεια μυδιών σε διεθνές επίπεδο.

Αναμένεται ότι η παγκόσμια παραγωγή θαλάσσιων δίθυρων, ιδιαίτερα στην Ασία, θα συνεχίσει να αυξάνεται στο μέλλον προκειμένου να καλύψει μέρος της ζήτησης πρωτεΐνης του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού ειδικά επειδή τα δίθυρα είναι μια βιώσιμη μορφή παραγωγής πρωτεΐνης. Η αναμενόμενη αύξηση της παραγωγής θαλάσσιων δίθυρων θα προέλθει κυρίως από την αύξηση της παραγωγής

υδατοκαλλιέργειας καθώς προβλέπεται ότι η παραγωγή από άγρια αλιεύματα είναι σχετικά περιορισμένη και πιθανότατα να μειωθεί περαιτέρω στο μέλλον.

Η βιωσιμότητα είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την περαιτέρω αύξηση της παραγωγής θαλάσσιων δίθυρων. Η υδατοκαλλιέργεια δίθυρων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό, αν όχι πλήρως, από φυσικά οικοσυστήματα, τα οποία είναι σε πολλές περιπτώσεις περιοχές διατήρησης της φύσης. Με την αυξανόμενη έμφαση στη βιωσιμότητα, η ισορροπία μεταξύ της ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας και της οικολογίας περιβάλλοντος έχει γίνει νέα απαίτηση και πρόκληση τόσο στην έρευνα όσο και στην εμπορική πτυχή. Η ανάπτυξη μιας βιώσιμης δίθυρης υδατοκαλλιέργειας θα προωθήσει την απασχόληση στις παράκτιες αλιευτικές ζώνες υποστηρίζοντας τη διαφοροποίηση σε περιοχές που συνδέονται με αλλαγές στον τομέα της αλιείας. Θα μπορούσε να έχει μεγάλη κοινωνικοοικονομική σημασία, γιατί θα επέτρεπε την ανάκαμψη και την ενίσχυση των παραδοσιακών δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την περιοχή. Ενδέχεται να ανοίξουν νέες ευκαιρίες για τοπική διαχείριση της εμπορικής αλιείας για να διασφαλιστεί, ότι τα χαρακτηριστικά του προϊόντος παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον για τον καταναλωτή (Wijsman, et al., 2018).

1.2.5 Η Καλλιέργεια των μυδιών στην Ελλάδα

Ιστορικές μαρτυρίες δείχνουν ότι η θαλάσσια υδατοκαλλιέργεια ασκούνταν στην Ελλάδα ήδη από τον 5ο αιώνα π.Χ., αλλά η σύγχρονη μορφή υδατοκαλλιέργειας στη χώρα ξεκίνησε πριν από περίπου 40 χρόνια. Είναι πλέον ένας ταχέως αναδυόμενος κλάδος που αναπτύσσεται ταχύτερα από οποιονδήποτε άλλο κλάδο ζωικής παραγωγής.

Τα κυριότερα είδη παραγωγής είναι το λαβράκι, η τσιπούρα και το μεσογειακό μύδι (*Mytilus galloprovincialis*).

Η υδατοκαλλιέργεια των μυδιών στην Ελλάδα αποτελεί μια σημαντική δραστηριότητα στον αλιευτικό τομέα. Οι περιοχές και οι τεχνικές καλλιέργειας μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και τις προτιμήσεις των καλλιεργητών. Ορισμένες από τις κύριες μορφές υδατοκαλλιέργειας μυδιών στην Ελλάδα περιλαμβάνουν:

- 1) Καλλιέργεια σε σκαφίδια:** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει τοποθέτηση των μυδιών σε σκαφίδια ή καλάθια που κρέμονται σε ειδικά σχεδιασμένες δομές ή πλωτά εργαλεία καλλιέργειας. Τα μύδια εκτίθενται στην παλίρροια και απορροφούν τροφή από το νερό.
- 2) Καλλιέργεια σε δεξαμενές:** Σε αυτήν τη μέθοδο, τα μύδια καλλιεργούνται σε υποβρύχιες δεξαμενές που περιέχουν θαλασσινό νερό. Οι δεξαμενές είναι συνήθως εγκατεστημένες κοντά σε ακτογραμμή ή σε παράκτιες περιοχές.
- 3) Καλλιέργεια σε πάρκα μυδιών:** Τα πάρκα μυδιών είναι ειδικά σχεδιασμένες περιοχές που περιλαμβάνουν διάφορα συστήματα καλλιέργειας, όπως σκαφίδια, δεξαμενές ή δομές στο νερό. Στα πάρκα τα μύδια καλλιεργούνται σε πυκνές συγκεντρώσεις, επιτρέποντας την εύκολη παρακολούθηση και διαχείριση. Η διαδικασία καλλιέργειας μυδιών στον ελλαδικό χώρο περιλαμβάνει τα εξής βασικά βήματα:
- I. Αρχική παρασκευή:** Η διαδικασία ξεκινά με την παρασκευή των εκτροφέων ή των σπερμάτων των μυδιών. Τα εκτροφεία είναι κατασκευές που φιλοξενούν τα μύδια σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης ενώ τα σπέρματα είναι μικρά μυδάκια που συλλέγονται από φυσικές πηγές ή παράγονται σε εργαστήρια.
- II. Τοποθέτηση στους εκτροφείς:** Τα μύδια ή τα σπέρματα τοποθετούνται στους εκτροφείς που μπορεί να είναι σκαφίδια, καλάθια ή άλλες δομές που επιτρέπουν την έκθεση στο νερό.
- III. Ανάπτυξη και τροφοδότηση:** Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, τα μύδια αναπτύσσονται και τρέφονται με φυτοπλαγκτόν και άλλους οργανισμούς που περιέχονται στο νερό. Αυτό συμβαίνει καθώς τα μύδια φιλτράρουν το νερό για να απορροφήσουν την τροφή τους.
- IV. Περιποίηση και διαχείριση:** Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, εκτελούνται διάφορες δραστηριότητες περιποίησης και διαχείρισης, που περιλαμβάνουν τον καθαρισμό των εκτροφέων, τον έλεγχο της ποιότητας του νερού, την αφαίρεση βλαβερών οργανισμών και την προστασία από ασθένειες.

V. Συλλογή: Όταν τα μύδια φτάσουν σε επαρκή μέγεθος για την κατανάλωση ή την εμπορία, πραγματοποιείται η συλλογή τους. Αυτό γίνεται είτε με χειρωνακτικό ή μηχανοκίνητο τρόπο, εξαρτώμενο από την κλίμακα της εκτροφής.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι οι λεπτομέρειες της διαδικασίας καλλιέργειας μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την περιοχή, την επιλεγμένη μέθοδο και τις τοπικές συνθήκες. Οι καλλιεργητές μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές και πρακτικές για τη βελτίωση της παραγωγής και της ποιότητας των μυδιών (Konstantinou et al., 2015).

Η καλλιέργεια μυδιών συνεισφέρει σημαντικά στην ελληνική οικονομία. Η εξαγωγή μυδιών ακόμη συνεισφέρει στην οικονομική και εμπορική ισορροπία της χώρας. Επίσης, οι παραθαλάσσιες περιοχές που φιλοξενούν εκτροφές μυδιών αποτελούν σημαντικούς τουριστικούς προορισμούς. Συγχρόνως, συμβάλει στην προστασία και ανάπτυξη των ακτών και παράλληλων παράκτιων ζωνών. Επιπλέον, η καλλιέργεια μυδιών μπορεί να βοηθήσει στην απομάκρυνση επιπρόσθετων θρεπτικών ουσιών από τα ύδατα, βελτιώνοντας την ποιότητα του νερού και την οικολογική ισορροπία του περιβάλλοντος. Αξίζει επιπλέον να προστεθεί η συμβολή της καλλιέργειας των μυδιών στη διάδοση της υγιεινής διατροφής και την προώθηση των οφελών της θαλασσινής διατροφής (Theodorou et al., 2011).

Κεφάλαιο 2^ο ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής

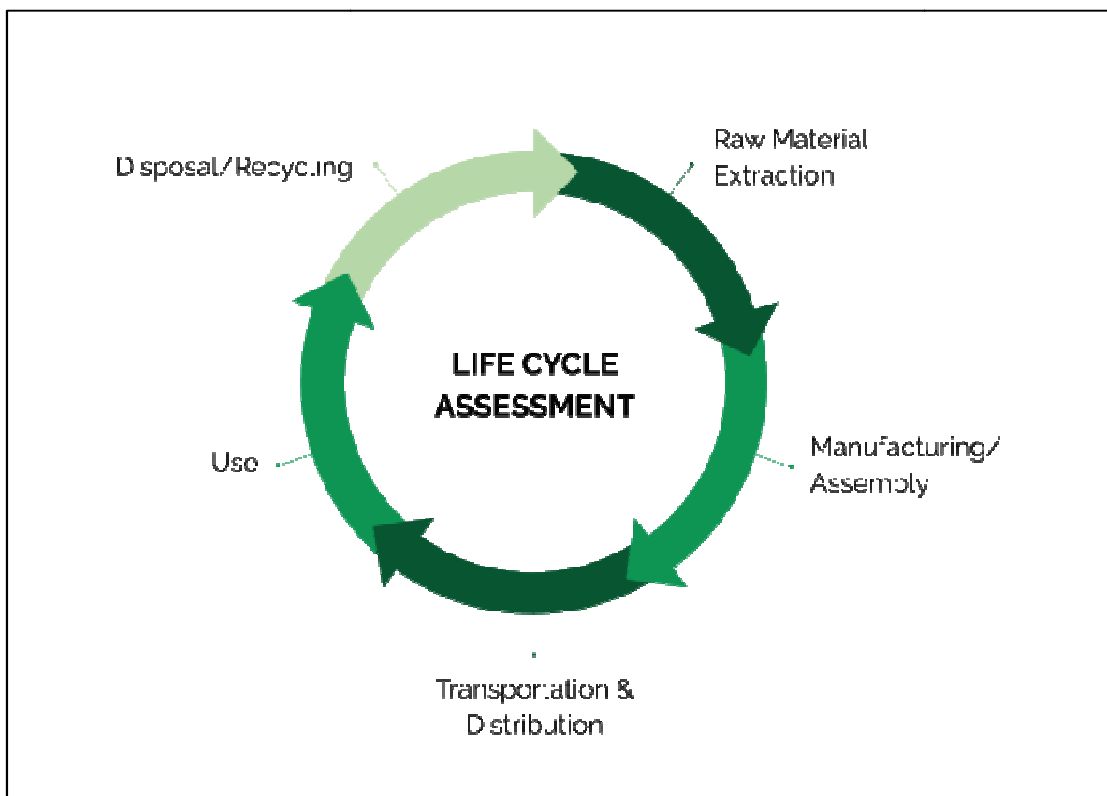
Η αξιολόγηση κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment - LCA) είναι μια μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος, μιας διεργασίας ή μιας υπηρεσίας κατά τη διάρκεια ολόκληρου του κύκλου ζωής τους. Αναλύει τις επιπτώσεις από την απόκτηση των πρώτων υλών μέχρι την παραγωγή, τη χρήση, την απόρριψη και την ανακύκλωση του προϊόντος ή της υπηρεσίας.

Η αξιολόγηση κύκλου ζωής εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε διάφορες κατηγορίες όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η κατανάλωση ενέργειας, η κατανάλωση νερού, η παραγωγή αποβλήτων και η επίδραση στην υγεία και την ποιότητα του αέρα, του νερού και του εδάφους. Μέσω αυτής, μπορούν να αναγνωριστούν οι βασικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες μιας διεργασίας και να εξεταστούν διάφορες εναλλακτικές λύσεις για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης (Frosell, 2019).

Η αξιολόγηση κύκλου ζωής αποτελείται από τέσσερα κύρια στάδια:

- 1) Ορισμός του σκοπού και του πεδίου:** Καθορίζονται οι παράμετροι και οι περιβαλλοντικές κατηγορίες που θα αξιολογηθούν καθώς και το πεδίο εφαρμογής της αξιολόγησης.
- 2) Ανάλυση του κύκλου ζωής:** Συλλέγονται και αξιολογούνται δεδομένα για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος ή της υπηρεσίας.
- 3) Εκτίμηση επιπτώσεων:** Αξιολογούνται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για κάθε κατηγορία όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου ή η κατανάλωση ενέργειας, χρησιμοποιώντας μεθόδους αξιολόγησης.
- 4) Ερμηνεία και σύνοψη:** Τα αποτελέσματα αξιολογούνται και ερμηνεύονται για να οροθετήσουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να παραχθούν συμπεράσματα για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης.

Η αξιολόγηση κύκλου ζωής παρέχει ένα ολοκληρωμένο και συνολικό πλαίσιο για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας. Χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς τομείς όπως η βιομηχανία, η αγροτική παραγωγή, οι μεταφορές και οι ενεργειακοί τομείς, για την αναγνώριση και τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των δραστηριοτήτων και των προϊόντων (Frosell, 2019).



Εικόνα 2. Αξιολόγηση Κύκλου ζωής ενός Προϊόντος.

Η αξιολόγηση κύκλου ζωής (Εικ. 2) συνδέεται άρρηκτα με την υδατοκαλλιέργεια των διθύρων μαλακίων όπως των μυδιών. Χρησιμοποιείται για την ανάλυση της υδατοκαλλιέργειας των μυδιών από την αρχή έως το τέλος του κύκλου ζωής τους, περιλαμβάνοντας την ανάλυση όλων των φάσεων, όπως η αρχική απόκτηση σπόρων, η καλλιέργεια, η συλλογή, η επεξεργασία, η διανομή και η απόρριψη των αποβλήτων. Αυτή η ανάλυση βοηθά στην παροχή συνολικής εικόνας των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της υδατοκαλλιέργειας των μυδιών. Μέσω της αξιολόγησης, μπορούν να αναγνωριστούν οι περιβαλλοντικές προκλήσεις, που συνδέονται με την υδατοκαλλιέργεια των μυδιών. Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν την εκτίμηση των επιπτώσεων στην ποιότητα του νερού, τη βιοποικιλότητα, τη χρήση ενέργειας, τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλες περιβαλλοντικές πτυχές.

Επιπρόσθετα, μπορούν να εντοπιστούν οι πτυχές της υδατοκαλλιέργειας των μυδιών που προκαλούν τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, επιτρέποντας την

ανάπτυξη και την εφαρμογή μέτρων βελτίωσης, που στοχεύουν στη μείωση των επιπτώσεων και τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης των μυδοκαλλιιεργειών, όπως η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, η βελτίωση της απορρόφησης θρεπτικών ουσιών ή η αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων.

Η αξιολόγηση κύκλου ζωής μπορεί επίσης, να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση διαφορετικών μεθόδων υδατοκαλλιέργειας των μυδιών ή για τη σύγκριση των μυδοκαλλιιεργειών με άλλες πηγές τροφής, βοηθώντας με αυτόν τον τρόπο στην επιλογή των πιο βιώσιμων και αποδοτικών τεχνικών και πρακτικών. Συνοπτικά, συμβάλλει στην κατανόηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της υδατοκαλλιέργειας και στην προαγωγή βελτιώσεων, που οδηγούν σε πιο βιώσιμες πρακτικές. Αυτό μπορεί, να οδηγήσει στην αποφυγή ή μείωση των αρνητικών επιπτώσεων και στην ενίσχυση της αειφορίας και της αειφορικής ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας των μυδιών (Iribarren et al., 2010).

2.2 Ανάλυση προγράμματος LCA

Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής είναι μια τεχνική για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών πτυχών που σχετίζονται με ένα προϊόν κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Οι πιο σημαντικές εφαρμογές είναι οι εξής:

- 1) Ανάλυση της συμβολής των σταδίων του κύκλου ζωής στο συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο, συνήθως με στόχο να δοθεί προτεραιότητα σε βελτιώσεις σε προϊόντα ή διαδικασίες
- 2) Σύγκριση μεταξύ προϊόντων εσωτερικής χρήσης

Μια μελέτη LCA αποτελείται από τέσσερα στάδια:

Στάδιο 1: Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης τίθεται ένας στόχος μελέτης, συμπεριλαμβανομένου του σκοπού του έργου και του τρόπου με τον οποίο θα χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα. Ένας τυπικός στόχος είναι η αξιολόγηση της περιβαλλοντικής απόδοσης ενός προϊόντος ή μιας διαδικασίας ή η σύγκριση επιλογών. Για κάθε επιλογή, ορίζεται μια κοινή λειτουργική μονάδα, η οποία περιγράφει την

υπηρεσία που παρέχεται και δημιουργεί μια ποσοτική βάση σύγκρισης για ολόκληρη τη μελέτη.

Μόλις οριστούν οι παράμετροι της μελέτης καθορίζεται **το όριο του συστήματος**, ουσιαστικά ποιοι τύποι εισροών, διεργασιών και εκπομπών θα πρέπει να περιλαμβάνονται στη μελέτη. Αυτό θα πρέπει να γίνει με τρόπο, ο οποίος θα εξυπηρετεί τον στόχο της μελέτης, διασφαλίζοντας ότι δεν αποκλείεται τίποτα που είναι πιθανό να έχει μεγάλη επιρροή στα αποτελέσματα. Ο στόχος και το πεδίο εφαρμογής καθορίζουν κατά πόσο ένα μεγάλο μέρος της ζωής του προϊόντος θα ληφθεί υπόψη στην αξιολόγηση και στο σκοπό που θα εξυπηρετήσει η αξιολόγηση. Τα κριτήρια που χρησιμεύουν για τη σύγκριση του συστήματος και τους συγκεκριμένους χρόνους περιγράφονται σε αυτό το βήμα.

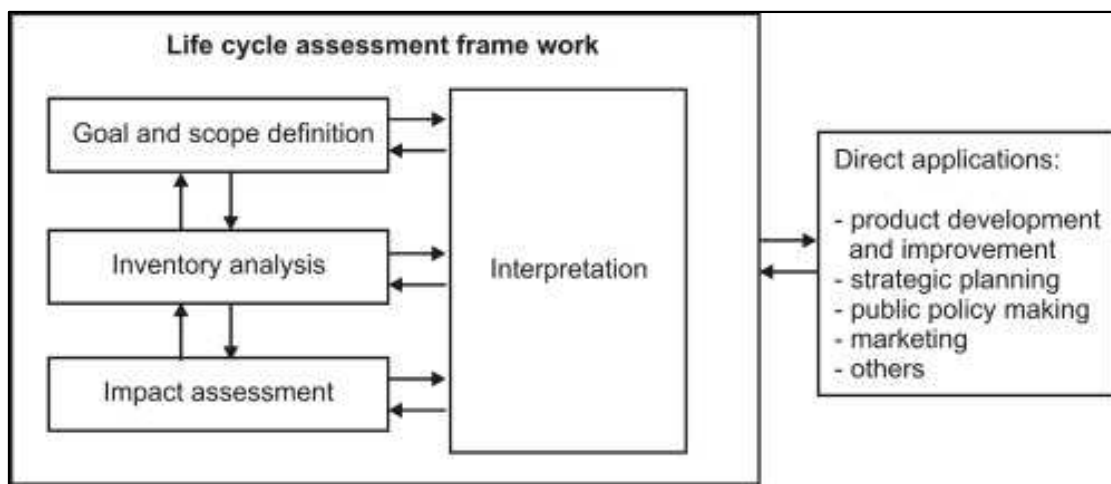
Στάδιο 2: Σε αυτό το στάδιο, η ανάλυση παρουσιάζει μια περιγραφή των ροών υλικών και ενέργειας εντός του συστήματος ενός προϊόντος και ιδιαίτερα της αλληλεπίδρασής του με το περιβάλλον, τις καταναλωμένες πρώτες ύλες και τις εκπομπές στο περιβάλλον. Αυτή είναι και η φάση συλλογής δεδομένων. Αρχικά συγκεντρώνονται οι άμεσες πληροφορίες από το πού παράγεται ή χρησιμοποιείται το αντικείμενο. Αυτές οι άμεσες πληροφορίες ονομάζονται δεδομένα προσκηνίου, τα οποία συνδέονται με τις βάσεις δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα βασίζονται σε εις βάθος μελέτες δεκαετιών που έχουν ερευνήσει τις αλυσίδες εφοδιασμού χιλιάδων υλικών και προϊόντων και έχουν καταμετρήσει όλες τις εισροές και τις εκπομπές στην πορεία.

Μόλις συνδεθούν όλα τα δεδομένα μεταξύ τους ένας αλγόριθμος κλιμακώνει όλες τις ροές στο σύστημα προϊόντος σύμφωνα με τις ποσότητες που απαιτούνται για την παραγωγή της τελικής ροής αναφοράς. Το σύστημα προϊόντων μπορεί να είναι αρκετά περίπλοκο. Το τελικό κλιμακούμενο σύνολο εισροών πόρων και εκπομπών ονομάζεται **απόθεμα κύκλου ζωής**.

Στάδιο 3: Λεπτομέρειες από την ανάλυση απογραφής χρησιμεύουν για την εκτίμηση επιπτώσεων. Αυτή η φάση αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο καθεμία από τις ροές στο απόθεμα του κύκλου ζωής επηρεάζει το περιβάλλον. Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους οι δραστηριότητές μας επηρεάζουν τον πλανήτη και την υγεία μας, αυτοί ονομάζονται **κατηγορίες επιπτώσεων**. Παραδείγματα περιλαμβάνουν την

υπερθέρμανση του πλανήτη, την εξάντληση της στιβάδας του όζοντος και την οικοτοξικότητα. Στη συνέχεια του αποδίδεται μια τιμή ή χαρακτηρίζεται ανάλογα με το πόσο ισχυρή είναι μια ουσία για κάθε τύπο κρούσης. Αυτό ονομάζεται παράγοντας χαρακτηρισμού (CF) και εκφράζεται σε σχέση με μια ουσία δείκτη. Ο χαρακτηρισμός βασίζεται στην ενσωμάτωση μοντέλων από την περιβαλλοντική επιστήμη, τη χημεία, τη φυσική, την οικολογία, την τοξικολογία και άλλους τομείς προκειμένου να δημιουργηθεί μια αιτιολογική αλυσίδα, που συνδέει μια εκπομπή σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία με τις φυσικές αλλαγές και τις ζημιές, που προκαλεί σε όλο τον κόσμο. Κάθε ροή ταξινομείται ανάλογα με το αν προκαλεί συγκεκριμένο αντίκτυπο. Τα αποτελέσματα των δεικτών όλων των κατηγοριών επιπτώσεων περιγράφονται λεπτομερώς σε αυτό το βήμα. Η σημασία κάθε κατηγορίας επιπτώσεων αξιολογείται με την κανονικοποίηση και με τη στάθμιση.

Στάδιο 4: Η ερμηνεία ενός κύκλου ζωής περιλαμβάνει κριτική ανασκόπηση, προσδιορισμό της ευαισθησίας των δεδομένων και παρουσίαση αποτελεσμάτων. Αυτή είναι η τελευταία και πιο σημαντική φάση της LCA, όπου τα αποτελέσματα μεταφράζονται σε γνώση και συστάσεις (Guinee, 2002).



Εικόνα 3. Στάδια LCA σύμφωνα με το EN ISO 14040

Κατά τη διεξαγωγή μιας μελέτης αξιολόγησης του κύκλου ζωής πρέπει να αντιμετωπιστούν τα ακόλουθα ζητήματα:

Οι επιβαρύνσεις που επιβάλλονται στο περιβάλλον από τις ανθρώπινες δραστηριότητες μπορούν να εξακριβωθούν λαμβάνοντας υπόψη τους πόρους και την ενέργεια (εισροές) που καταναλώνονται σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος και τους ρύπους και τα απόβλητα (εκροές) που προκύπτουν. Στη συνέχεια, οι εισροές και οι εκροές αξιολογούνται για τις δυσμενείς επιπτώσεις τους στη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των ανανεώσιμων και μη ανανεώσιμων πόρων, στην ανθρώπινη υγεία και τη βιοποικιλότητα, μεταξύ άλλων. Μόλις γίνουν γνωστά, ενδέχεται να ληφθούν μέτρα για τον μετριασμό των επιπτώσεων των εκροών (ή των αποθεμάτων) στο περιβάλλον.

Η χρήση της μεθόδου LCA μπορεί να βοηθήσει στα εξής:

- 1) Στην αναζήτηση των πιο διαθέσιμων κύκλων ζωής, π.χ., εκείνων με ελάχιστες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον,
- 2) Στην υιοθέτηση των αποφάσεων στη βιομηχανία, τους δημόσιους οργανισμούς ή τις ΜΚΟ, οι οποίες καθορίζουν την κατεύθυνση και τις προτεραιότητες στον στρατηγικό σχεδιασμό, το σχεδιασμό ή το σχεδιασμό προϊόντος ή αλλαγή διαδικασίας,
- 3) στην επιλογή σημαντικών δεικτών περιβαλλοντικής συμπεριφοράς του οργανισμού συμπεριλαμβανομένων τεχνικών μέτρησης και αξιολόγησης, κυρίως σε σχέση με την αξιολόγηση της κατάστασης του περιβάλλοντος του,
- 4) στο μάρκετινγκ με το σύνδεσμο για τη διατύπωση περιβαλλοντικής δήλωσης ή οικολογικής σήμανσης.

Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής είναι μια αντικειμενική διαδικασία για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που σχετίζονται με ένα προϊόν, μια διαδικασία ή μια δραστηριότητα, προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας τη χρήση ενέργειας και υλικών και τις περιβαλλοντικές εκλύσεις, για την αξιολόγηση των επιπτώσεων αυτών των χρήσεων και εκλύσεων ενέργειας και υλικών στο περιβάλλον και για την αξιολόγηση και την εφαρμογή ευκαιριών για την επίτευξη περιβαλλοντικών βελτιώσεων. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, τη

δραστηριότητα του μεταποιητή, που περιλαμβάνει την εξόρυξη και την επεξεργασία πρώτων υλών. κατασκευή, μεταφορά και διανομή, χρήση/εκ νέου χρήση/συντήρηση, ανακύκλωση και τελική διάθεση. Μια ανάλυση ενός τυπικού σύνθετου κατασκευασμένου προϊόντος παρουσιάζεται σε:

Στάδιο 1: Η προκατασκευή εκτελείται από προμηθευτές που αντλούν γενικά φυσικούς πόρους και παράγουν υλικά και εξαρτήματα

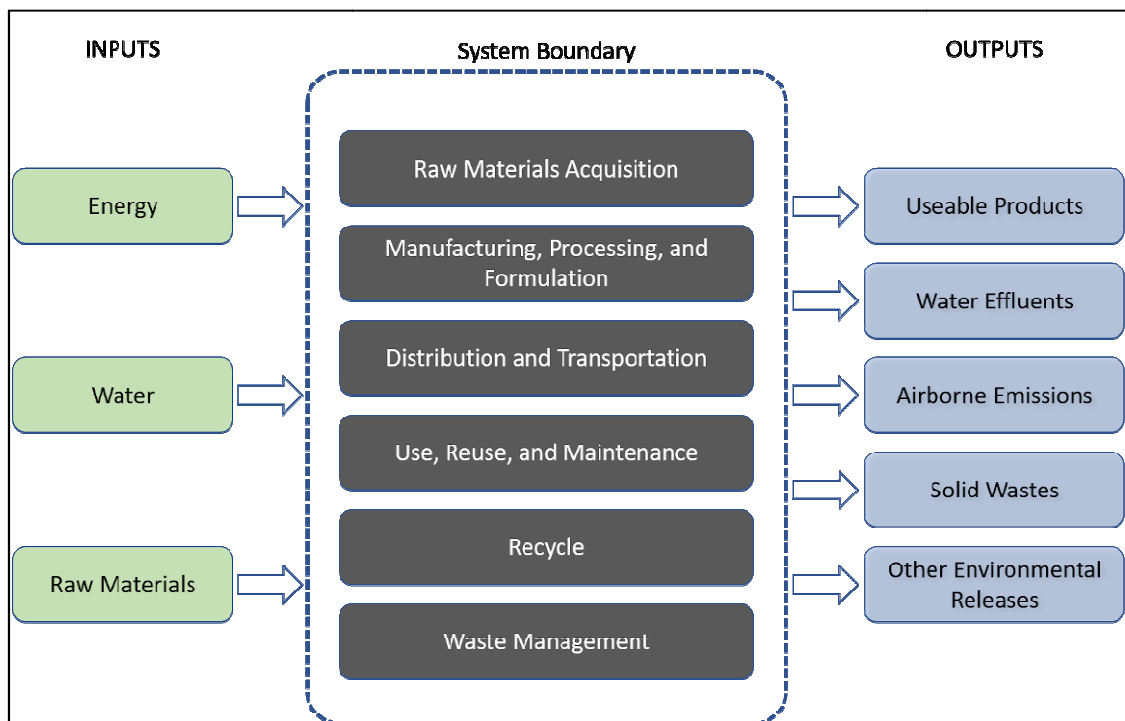
Στάδιο 2: Η κατασκευαστική λειτουργία

Στάδιο 3: Η παράδοση προϊόντος. Αυτό το στάδιο και το προηγούμενο είναι άμεσα υπό τον εταιρικό έλεγχο

Στάδιο 4: Το στάδιο χρήσης από τον πελάτη. Το προϊόν δεν ελέγχεται άμεσα από τον κατασκευαστή αλλά επηρεάζεται έντονα από τον τρόπο σχεδιασμού των προϊόντων και από το βαθμό της συνεχιζόμενης αλληλεπίδρασης του κατασκευαστή,

Στάδιο 5: Η ανακύκλωση. Ένα προϊόν που δεν είναι πλέον ικανοποιητικό λόγω απαξίωσης, υποβάθμισης εξαρτημάτων ή αλλαγμένων επιχειρηματικών ή προσωπικών συνθηκών ανακυκλώνεται ή απορρίπτεται (Muralikrishna & Manickam, 2017).

Συνοπτικά, η αξιολόγηση του κύκλου ζωής είναι μια μεγάλη και πολύπλοκη προσπάθεια, η οποία έχει αρκετές παραλλαγές. Ωστόσο, όπως ήδη αναφέρθηκε, υπάρχει γενική συμφωνία σχετικά με την επίσημη δομή της LCA, η οποία περιλαμβάνει τέσσερα στάδια: ορισμός στόχου και πεδίου, ανάλυση αποθέματος και ανάλυση επιπτώσεων, με κάθε στάδιο να ακολουθείται από ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Η LCA συνήθως, χρησιμοποιεί ποσοτικά δεδομένα, για να καθορίσει τα επίπεδα και τους τύπους ενέργειας και υλικών, που εισέρχονται σε ένα βιομηχανικό σύστημα και την παραγωγή προϊόντος, καθώς και τις περιβαλλοντικές εκλύσεις που προκύπτουν. Η κύρια τεχνική που χρησιμοποιείται στο LCA είναι αυτή της μοντελοποίησης (Εικ. 4). Στη φάση της απογραφής, κατασκευάζεται ένα μοντέλο του πολύπλοκου τεχνικού συστήματος που χρησιμοποιείται για την παραγωγή, τη μεταφορά, τη χρήση και τη διάθεση ενός προϊόντος. Για κάθε διαδικασία συλλέγονται όλες οι σχετικές εισροές και εκροές. Το αποτέλεσμα είναι συνήθως ένας πολύ μακρύς κατάλογος εισροών και εκροών, το οποίο συχνά είναι δύσκολο να ερμηνευθεί (Muralikrishna & Manickam, 2017).



Εικόνα 4. Κύκλος Ζωής ενός προϊόντος.

2.3 Μονάδα ανοιχτής εκτροφής μυδιών

Η ανοικτή εκτροφή μυδιών είναι μια μέθοδος υδατοκαλλιέργειας, που γίνεται σε ανοιχτά ύδατα, όπως θάλασσες, ωκεανοί, λίμνες και κόλποι. Συνήθως, οι εκτροφείς δημιουργούν ειδικές δομές ή καλλιέργειες στις οποίες τα μύδια παραμένουν για την ανάπτυξή τους. Αποτελούνται από δίκτυα ή πλέγματα που επιτρέπουν την κυκλοφορία του νερού και των θρεπτικών ουσιών ενώ παράλληλα προστατεύουν τα μύδια από τους εχθρούς και τις άλλες ζωικές εισβολές. Τα μύδια τρέφονται με τις φυτικές πρωτεΐνες και τα θρεπτικά στοιχεία που βρίσκονται στο περιβάλλον τους, όπως το φυτοπλαγκτόν.

Η ανοικτή εκτροφή μυδιών έχει πλεονεκτήματα όπως τη φυσική ανάπτυξη των μυδιών, την εξοικονόμηση ενέργειας και το χαμηλό κόστος λειτουργίας. Επιπλέον, συμβάλλει στη βιώσιμη ανάπτυξη της αλιευτικής βιομηχανίας και τη διατήρηση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Ωστόσο, η ανοικτή εκτροφή μυδιών μπορεί να αντιμετωπίζει ορισμένες προκλήσεις, όπως η επίδραση των καιρικών συνθηκών και των

θαλάσσιων ρευμάτων στην ανάπτυξη των μυδιών, η ευαισθησία σε ασθένειες και παράσιτα και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει, όπως η αύξηση του φυτοπλαγκτόν και η απορρόφηση οξυγόνου από την αύξηση της βιομάζας των μυδιών.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, οι εκτροφείς μπορούν να χρησιμοποιήσουν μέτρα όπως η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, η εφαρμογή καλύτερων πρακτικών διαχείρισης και η χρήση τεχνολογιών που μειώνουν τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, μέσω της αξιολόγησης του κύκλου ζωής (LCA). Δίνεται η δυνατότητα εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ανοικτής εκτροφής μυδιών σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής, από την παραγωγή των σπόρων μέχρι τη συλλογή και επεξεργασία των μυδιών καθώς και τη διαχείριση των αποβλήτων. Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης κύκλου ζωής μπορούν να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως η κατανάλωση ενέργειας, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η χρήση νερού, η δασμολογική επίδραση, η επίδραση στη βιοποικιλότητα καθώς και η διαχείριση των αποβλήτων και των χημικών ουσιών.

Η αξιολόγηση κύκλου ζωής μπορεί να παρέχει πληροφορίες και αναλύσεις που βοηθούν στην προαγωγή της βιώσιμης ανάπτυξης της ανοικτής εκτροφής μυδιών και στη λήψη αποφάσεων που θα οδηγήσουν σε πιο βιώσιμες πρακτικές. Μπορεί να αποκαλύψει τις πιο επιβλαβείς πτυχές της διαδικασίας εκτροφής και να εντοπίσει τις περιοχές που απαιτούν βελτίωση για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Με βάση τα αποτελέσματα της αξιολόγησης κύκλου ζωής, μπορούν να αναπτυχθούν βελτιωμένες πρακτικές και τεχνολογίες, όπως η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η βελτιωμένη διαχείριση των αποβλήτων, η εφαρμογή αποτελεσματικότερων μεθόδων παραγωγής και η προώθηση της κυκλικής οικονομίας μέσω της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης υλικών. Η σύνδεση της αξιολόγησης κύκλου ζωής με την ανοικτή εκτροφή μυδιών προσφέρει ένα ολοκληρωμένο και αντικειμενικό πλαίσιο για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτής της μεθόδου εκτροφής. Βασιζόμενοι σε αυτές τις πληροφορίες, οι εκτροφείς και οι ενδιαφερόμενοι φορείς μπορούν να λάβουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις και να

αναπτύξουν βελτιωμένες πρακτικές για την προαγωγή της βιωσιμότητας και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Η ανοικτή εκτροφή αποτελεί μια δημοφιλή μέθοδο υδατοκαλλιέργειας μυδιών, η οποία συνδυάζει τη φυσική ανάπτυξη των μυδιών με τη διατήρηση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Παρέχει μια αειφόρο και οικονομικά αποδοτική λύση για την παραγωγή μυδιών και συμβάλλει στη διασφάλιση της βιωσιμότητας του τομέα της υδατοκαλλιέργειας μυδιών (Langan, 2012).

2.4 Μονάδα κλειστής εκτροφής μυδιών

Μια μονάδα κλειστής εκτροφής μυδιών είναι μια εγκατάσταση που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια μυδιών σε κλειστά ή ημίκλειστα συστήματα, σε αντίθεση με την ανοικτή εκτροφή στη θάλασσα ή άλλα ανοιχτά ύδατα. Η μονάδα κλειστής εκτροφής μυδιών είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να ελέγχεται το περιβάλλον και οι συνθήκες καλλιέργειας των μυδιών. Συνήθως περιλαμβάνει δοχεία ή δεξαμενές με σταθερούς όγκους νερού, συστήματα φίλτρων, ρύθμιση θερμοκρασίας και ελέγχου αλατότητας του νερού καθώς και συστήματα διαχείρισης αποβλήτων. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν τη δημιουργία ιδανικών συνθηκών για την ανάπτυξη και την υγεία των μυδιών, ελέγχοντας παράλληλα παράγοντες όπως η ποιότητα του νερού, η διατήρηση της θρεπτικής αξίας και η πρόσβαση σε τροφή.

Οι μονάδες κλειστής εκτροφής μπορούν να παρέχουν πλεονεκτήματα όπως:

- 1) Ελεγχόμενες συνθήκες καλλιέργειας, που επιτρέπουν τη βέλτιστη ανάπτυξη και υγεία των μυδιών.
- 2) Προστασία από εχθρούς και παράσιτα, μειώνοντας τον κίνδυνο ασθενειών και απωλειών.
- 3) Μείωση του αντίκτυπου στο περιβάλλον καθώς οι εκροές υδάτων και τα απόβλητα μπορούν να ελεγχθούν και να επεξεργαστούν εντός της μονάδας.
- 4) Ενδεχομένως μεγαλύτερη παραγωγή μυδιών, λόγω του ελέγχου των συνθηκών ανάπτυξης και της βελτιωμένης πρόσβασης σε τροφή.

Ωστόσο, οι μονάδες κλειστής εκτροφής μπορεί να απαιτούν υψηλότερες επενδύσεις από άποψη κεφαλαίου, τεχνολογίας και ενέργειας σε σύγκριση με την

ανοικτή εκτροφή. Επίσης, η διαχείριση της ποιότητας του νερού και ο έλεγχος των παραμέτρων του περιβάλλοντος μπορεί να απαιτεί επιπλέον προσπάθειες και τεχνογνωσία. Οι μονάδες κλειστής εκτροφής μυδιών αναπτύσσονται και χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιοχές παγκοσμίως, εξαρτώμενες από τις τοπικές συνθήκες και τις ανάγκες της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας μυδιών. Ορισμένες περιοχές όπου έχουν αναπτυχθεί μονάδες κλειστής εκτροφής μυδιών περιλαμβάνουν την Κίνα, την Ιαπωνία, τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Αυστραλία, τη Νέα Ζηλανδία, τη Νορβηγία, τη Χιλή και άλλες ευρωπαϊκές χώρες.

Οι μονάδες κλειστής εκτροφής μπορούν να ποικίλλουν ανάλογα με τις τεχνολογίες και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται. Ορισμένες μονάδες χρησιμοποιούν συστήματα ροής νερού για τη διατήρηση της ποιότητας του νερού και την προώθηση της ανάπτυξης των μυδιών ενώ άλλες χρησιμοποιούν τεχνητές τροφές και ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και αλατότητας.

Η κλειστή εκτροφή μυδιών μπορεί να παρέχει πλεονεκτήματα όπως η ελεγχόμενη παραγωγή, η αυξημένη απόδοση, η προστασία από ασθένειες και εχθρούς καθώς και η μείωση του αντίκτυπου στο περιβάλλον. Ωστόσο, η κλειστή εκτροφή μπορεί να απαιτεί υψηλότερο κόστος και περισσότερο προσωπικό και μπορεί να απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις και τεχνολογία για τη διαχείριση των συστημάτων και των παραμέτρων περιβάλλοντος.

Συνολικά, η μονάδα κλειστής εκτροφής μυδιών αναπτύσσεται ως μια εναλλακτική μέθοδος για την παραγωγή μυδιών, παρέχοντας ελεγχόμενες συνθήκες και βελτιωμένη απόδοση. Η εφαρμογή της κλειστής εκτροφής μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τις περιοχές και τις ανάγκες της εκάστοτε αλιευτικής βιομηχανίας και μπορεί να αποτελέσει ένα βιώσιμο μοντέλο για την παραγωγή μυδιών, μειώνοντας τον αντίκτυπο στο περιβάλλον και παρέχοντας υψηλή ποιότητα προϊόντων.

Η κλειστή εκτροφή μυδιών και η αξιολόγηση κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment - LCA) συνδέονται με τον τρόπο που αξιολογούνται και αναλύονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της διαδικασίας καλλιέργειας μυδιών σε κλειστά συστήματα. Στην περίπτωση της κλειστής εκτροφής μυδιών, η αξιολόγηση κύκλου ζωής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναλυθούν και να αξιολογηθούν οι

περιβαλλοντικές επιπτώσεις της διαδικασίας εκτροφής μυδιών σε κλειστά συστήματα. Με τη βοήθεια της LCA, μπορούν να εκτιμηθούν παράγοντες όπως η κατανάλωση ενέργειας, η χρήση νερού, η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, η παραγωγή αποβλήτων, η χρήση χημικών ουσιών και άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες σε όλα τα στάδια της εκτροφής μυδιών σε κλειστά συστήματα. Η αξιολόγηση κύκλου ζωής μπορεί επίσης να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων και την προαγωγή της βιωσιμότητας της κλειστής εκτροφής μυδιών. Συνδέεται με την κλειστή εκτροφή μυδιών ως εργαλείο, που επιτρέπει την πλήρη ανασκόπηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της διαδικασίας εκτροφής μυδιών. Με τη χρήση της αξιολόγησης κύκλου ζωής, μπορούν να προσδιοριστούν προβλήματα, να αναγνωριστούν ευκαιρίες βελτίωσης και να ληφθούν αποφάσεις για την ανάπτυξη βιώσιμων πρακτικών στην κλειστή εκτροφή μυδιών (Cahill et al., 2012).

2.5 Οικοτοξικότητα του γλυκού νερού σε μονάδα ανοιχτής και κλειστής εκτροφής μυδιών

Πολλά υδρόβια είδη κινδυνεύουν από τις τοξικές επιδράσεις των ανθρωπογενών στρεσογόνων παραγόντων. Τα βενθικά ασπόνδυλα μπορεί να είναι πιο ευάλωτα σε ρύπους που μεταδίδονται στο νερό και στα ιζήματα λόγω του καθιστικού τρόπου ζωής και των διατροφικών τους συνηθειών που μπορεί να οδηγήσουν σε πολλαπλές οδούς έκθεσης. Ένα τέτοιο ευάλωτο είδος είναι το μύδι του γλυκού νερού, το οποίο είναι ταυτόχρονα τροφοδότης φίλτρου και τροφοδότης εναποθέσεων στα πρώτα στάδια της ζωής του. Τα περισσότερα είδη μυδιών του γλυκού νερού απειλούνται με εξαφάνιση, γεγονός που αποτελεί ζήτημα διατήρησης καθώς αποτελεί βασικό είδος, το οποίο παρέχει στοιχειώδεις υπηρεσίες στα υδάτινα οικοσυστήματα. Ως τροφοδότες φίλτρων με περιορισμένη κινητικότητα, τα μύδια είναι πολύ ευαίσθητα στη ρύπανση του νερού.

Παρά τον κίνδυνο έκθεσής τους, τα μύδια υποεκπροσωπούνται στις τυπικές οικοτοξικολογικές μεθόδους.

Αυτή η μελέτη είχε ως στόχο, να αποδείξει, ότι η συμπεριφορά των μυδιών αποκρίνεται σε έναν χημικό στρεσογόνο παράγοντα ο οποίος θεωρείται ένας κατάλληλος και ικανός

βιοδείκτης για την πρόοδο οικοτοξικολογικών μεθόδων που βοηθούν τη διατήρηση των μυδιών (Wang et al., 2016).

Η υδάτινη οικοτοξικότητα του γλυκού νερού σε μια μονάδα ανοιχτής εκτροφής μυδιών μπορεί να επηρεάζεται από παράγοντες όπως η ποιότητα του νερού, οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στην εκτροφή και τα απόβλητα που παράγονται από τη δραστηριότητα της μονάδας. Στις ανοιχτές εκτροφές μυδιών, τα μύδια αναπτύσσονται σε φυσικά ή ημιφυσικά περιβάλλοντα όπως εκβολές ποταμών ή παράκτιες περιοχές. Κατά συνέπεια, η υδάτινη οικοτοξικότητα μπορεί να οφείλεται σε διάφορες πηγές ρύπανσης όπως χημικές ουσίες από βιομηχανικές δραστηριότητες, γεωργικά φάρμακα, ορυκτά ή απόβλητα που μπορεί να εκποντίζονται στο νερό.

Για να αξιολογηθεί η οικοτοξικότητα του γλυκού νερού σε μια ανοιχτή εκτροφή μυδιών είναι σημαντικό να παρακολουθείται η ποιότητα του νερού τακτικά. Μπορούν να γίνουν αναλύσεις για τον προσδιορισμό της παρουσίας χημικών ουσιών και της συγκέντρωσής τους καθώς και για την αξιολόγηση των επιπτώσεών τους στην υδρόβια ζωή.

Επιπροσθέτως, είναι σημαντικό να αναφερθεί ο σημαίνων ρόλος της τήρησης των κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης των αποβλήτων της εκτροφής μυδιών. Οι πρακτικές αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν τη χρήση επεξεργασίας αποβλήτων όπως φίλτρα που βοηθούν στην απομάκρυνση επιβλαβών ουσιών από το νερό πριν αυτό επιστραφεί στο περιβάλλον.

2.6 Ευτροφισμός και Καλλιέργεια Μυδιών

Ο ευτροφισμός χαρακτηρίζεται από υπερβολική ανάπτυξη φυτοπλαγκτού λόγω της αυξημένης διαθεσιμότητας ενός ή περισσότερων περιοριστικών αυξητικών παραγόντων που απαιτούνται για τη φωτοσύνθεση όπως το ηλιακό φως, το διοξείδιο του άνθρακα και τα θρεπτικά λιπάσματα. Ο ευτροφισμός συμβαίνει φυσικά με την πάροδο των αιώνων καθώς οι λίμνες γερνούν και γεμίζουν με ιζήματα. Ωστόσο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επιταχύνει τον ρυθμό και την έκταση του ευτροφισμού, τόσο μέσω των απορρίψεων σημειακών πηγών όσο και μέσω της μη σημειακής φόρτωσης περιοριστικών θρεπτικών ουσιών, όπως το άζωτο και ο

φώσφορος στα υδάτινα οικοσυστήματα με δραματικές συνέπειες για τις πηγές πόσιμου νερού και την αλιεία (Schindler, 2006).

Οι θρεπτικές ουσίες είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη και την ευημερία των οργανισμών αλλά όταν υπάρχουν σε υπερβολικές ποσότητες μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα. Οι θρεπτικές ουσίες διεγείρουν την αύξηση των αλγών και άλλων φυτών στο νερό. Οι αυξημένες ποσότητες φυτών οδηγούν σε μια σειρά επιπτώσεων όπως η αλλοίωση της ποιότητας του νερού, η μείωση της διαφάνειας, η μείωση της ποσότητας διαθέσιμου οξυγόνου, η αλλαγή της σύνθεσης των ειδών και η μείωση της βιοποικιλότητας. Επίσης, η υπερβολική ανάπτυξη φυτοπλαγκτού μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στον βιολογικό κύκλο όπως η αποσύνθεση μεγάλων ποσοτήτων φυτών που καταναλώνει ακόμη περισσότερο οξυγόνο και μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα (Chislock et al., 2013).

Δεδομένης της ευρείας έκτασης της υποβάθμισης της ποιότητας του νερού που σχετίζεται με τον εμπλουτισμό θρεπτικών ουσιών, ο ευτροφισμός αποτελεί και εξακολουθεί να αποτελεί σοβαρή απειλή. Αν και πολλοί έχουν περάσει νομοθεσία για τη ρύθμιση της σημειακής φόρτωσης θρεπτικών ουσιών, ο ευτροφισμός και η άνθηση του εξακολουθούν να επικρατούν στα επιφανειακά ύδατα σε όλο τον κόσμο. Η προβλεπόμενη κλιματική αλλαγή και η αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού έχουν τη δυνατότητα να υποβαθμίσουν περαιτέρω την ποιότητα και την ποσότητα του νερού και υπάρχει άμεση ανάγκη από τους διαχειριστές υδάτινων πόρων να κατανοήσουν, τον τρόπο με τον οποίο θα ελαχιστοποιήσουν την ένταση και τη συχνότητα των φυκιών και των κυανοβακτηρίων (Paerl & Paul, 2012).

Για τον έλεγχο του ευτροφισμού απαιτούνται διαχειριστικά μέτρα όπως η καλύτερη διαχείριση των αποβλήτων, η προσεκτική χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων και η εφαρμογή μέτρων ενεργειακής αποτελεσματικότητας σε βιομηχανικές και αγροτικές δραστηριότητες.

Ο ρόλος των δίθυρων ειδών για τη ρύθμιση της συγκέντρωσης ρύπων και θρεπτικών ουσιών σε λίμνες και θάλασσες έχει αναγνωριστεί από τη δεκαετία του 1950. Οι βλάβες που προκαλούνται από τον εμπλουτισμό θρεπτικών ουσιών έχουν επίσης αναφερθεί σε πολλές θάλασσες και λίμνες παγκοσμίως κατά τη διάρκεια πολλών

δεκαετιών. Η καλλιέργεια μυδιών αποτελεί ένα εύκολο, ευέλικτο και ρεαλιστικό μέτρο και πιθανόν μια οικονομικά αποδοτική μέθοδο για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων του ευτροφισμού στα θαλάσσια ύδατα. Ταυτόχρονα, τα υγιεινά θαλάσσια τρόφιμα παράγονται από ένα χαμηλό επίπεδο της τροφικής αλυσίδας και τα θρεπτικά συστατικά ανακυκλώνονται από τη θάλασσα στη στεριά. Είναι σημαντικό, να αναφερθεί, ότι η εκτροφή μυδιών μπορεί να είναι μια οικονομικά αποδοτική μέθοδος μείωσης του ευτροφισμού. Η αξία της εκτροφής μυδιών για τη μείωση των θρεπτικών συστατικών προσδιορίζεται στη συνέχεια από τους στόχους μείωσης τόσο για τα θρεπτικά συστατικά όσο και για το κόστος καθαρισμού της μυδιοκαλλιέργειας και άλλα μέτρα μείωσης. Τα μύδια είναι οργανισμοί, οι οποίοι τρέφονται καταναλώνοντας θρεπτικές ουσίες από το νερό (φιλτράρισμα). Αυτός ο τρόπος τροφοδοσίας μπορεί να έχει θετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και να μειώσει τον ευτροφισμό. Ορισμένοι τρόποι με τους οποίους η καλλιέργεια των μυδιών βοηθά στον έλεγχο του ευτροφισμού είναι οι εξής:

- **Απομάκρυνση θρεπτικών ουσιών:** Τα μύδια απορροφούν αζωτούχες και φωσφορούχες ενώσεις από το νερό για τη διατροφή τους. Με την καλλιέργειά τους αφαιρούν αυτές τις ουσίες από το περιβάλλον, μειώνοντας τη συγκέντρωσή τους και εμποδίζοντας την υπερβολική ανάπτυξη φυκών και άλλων ειδών.
- **Φιλτράρισμα του νερού:** Κατά τη διάρκεια της τροφής τους, φιλτράρουν το νερό και απομακρύνουν τα σωματίδια τροφής και άλλες ανόργανες ουσίες. Αυτό μειώνει τον αριθμό των θρεπτικών ουσιών στο νερό και βελτιώνει την ποιότητα του.
- **Βελτίωση οξυγόνωσης:** Η υπερβολική ανάπτυξη φυτών λόγω ευτροφισμού μπορεί να μειώσει τη διαθέσιμη ποσότητα οξυγόνου στο νερό. Ωστόσο τα μύδια βοηθούν στη βελτίωση της οξυγόνωσης διασπώντας τα σωματίδια τροφής και παράγοντας την κυκλοφορία του νερού μέσα από τα κελύφη τους. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την οξυγόνωση σε περιοχές, όπου η ανεπάρκεια οξυγόνου είναι πρόβλημα.

Ωστόσο, παρότι η καλλιέργεια των μυδιών δύναται να βοηθήσει στον έλεγχο του ευτροφισμού, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως η ορθή διαχείριση των αποβλήτων και η προώθηση βιώσιμων γεωργικών πρακτικών για

να διατηρηθεί η ισορροπία του οικοσυστήματος και να μειωθεί ο ευτροφισμός (Gren et al., 2009).

Στην ανοιχτή εκτροφή μυδιών ο ευτροφισμός θεωρείται μια από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι καλλιεργητές. Τα μύδια αναπτύσσονται σε περιβάλλοντα, όπως εκβολές ποταμών ή παράκτιες περιοχές και το νερό στο οποίο ζουν μπορεί να είναι επηρεασμένο από την υπερβολική προσφορά θρεπτικών ουσιών. Ο ευτροφισμός σε μονάδες ανοιχτής εκτροφής μυδιών οφείλεται σε διάφορους παράγοντες:

- 1) **Γεωργική δραστηριότητα:** Τα αζωτούχα λιπάσματα και τα γεωργικά φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται στις γειτονικές γεωργικές εκτάσεις διοχετεύονται στα ύδατα προκαλώντας τον ευτροφισμό.
- 2) **Απόβλητα κοινοτήτων:** Τα απόβλητα από κοινότητες, όπως η αποχέτευση και επεξεργασία λυμάτων είναι δυνατόν να περιέχουν θρεπτικές ουσίες που εκπέμπονται στα ύδατα.
- 3) **Υπερβολική τροφοδοσία:** Σε ορισμένες περιπτώσεις οι καλλιεργητές προσφέρουν υπερβολική ποσότητα τροφής στα μύδια προκειμένου να επιταχύνουν την ανάπτυξή τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υπερβολική προσφορά θρεπτικών ουσιών στο νερό.

Ο ευτροφισμός μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ανοιχτή εκτροφή μυδιών.

Η υπερβολική προσφορά θρεπτικών ουσιών μπορεί να προκαλέσει την ανάπτυξη ευνοϊκών συνθηκών για την ανάπτυξη του ευτροφισμού. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απόφραξη, μείωση της οξυγόνωσης του νερού, μείωση της ποιότητας των μυδιών και ακόμη και στην απώλεια μυδιών λόγω ασθενειών. Ο έλεγχος του ευτροφισμού σε μονάδες ανοιχτής εκτροφής μυδιών πραγματώνεται με μέτρα όπως η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, η βελτίωση της διαχείρισης των αποβλήτων, η προαγωγή βιώσιμων γεωργικών πρακτικών και η εφαρμογή κατάλληλων προτύπων καλλιέργειας και τροφοδοσίας των μυδιών.

Οι πρακτικές αυτές συμβάλλουν στη μείωση των θρεπτικών ουσιών στο νερό και στη διατήρηση ενός υγιούς περιβάλλοντος για την καλλιέργεια των μυδιών.

Τουναντίον στην κλειστή εκτροφή μυδιών ο ευτροφισμός είναι ένας παράγοντας ο οποίος πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη διαχείριση του συστήματος εκτροφής.

Ο ευτροφισμός σε μονάδες κλειστής εκτροφής μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες:

- 1) Τροφοδοσία:** Τα μύδια στην κλειστή εκτροφή πρέπει να τρέφονται με τροφή που παρέχεται από τον καλλιεργητή. Εάν η τροφοδοσία γίνεται υπερβολική ή δεν ελέγχεται σωστά μπορεί να προκληθεί ευτροφισμός.
- 2) Απόβλητα των μυδιών:** Τα μύδια παράγουν απόβλητα στο περιβάλλον τους όπως κόπρανα και εκκρίματα. Αν δεν διαχειρίζονται σωστά αυτά τα απόβλητα μπορούν να προκαλέσουν ευτροφισμό στο νερό του συστήματος εκτροφής.
- 3) Προβλήματα συστήματος:** Σε ορισμένες περιπτώσεις προβλήματα με τη διαχείριση του συστήματος εκτροφής μπορεί να οδηγήσουν σε ευτροφισμό. Αυτό μπορεί να συμβεί αν υπάρχουν διαρροές νερού που περιέχει θρεπτικές ουσίες, έλλειψη αποτελεσματικού συστήματος φιλτραρίσματος ή ανεπαρκής κυκλοφορία νερού που μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση θρεπτικών ουσιών. Σε μονάδες κλειστής εκτροφής μυδιών απαιτούνται κατάλληλα μέτρα διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένου του ελέγχου της τροφοδοσίας και της ακριβούς δόσης τροφής, της διαχείρισης των αποβλήτων των μυδιών, της χρήσης αποτελεσματικών συστημάτων φιλτραρίσματος και της διατήρησης κατάλληλων παραμέτρων νερού, όπως η οξυγόνωση και η αλλαγή νερού. Ο σχεδιασμός και η λειτουργία του συστήματος εκτροφής αποσκοπούν στην ελαχιστοποίηση της επίδρασης του ευτροφισμού και στη διατήρηση ενός υγιούς περιβάλλοντος για την ανάπτυξη των μυδιών (Kotta et al., 2020).

2.7 Όξυνση Ωκεανών και Καλλιέργεια Μυδιών

Τα τελευταία 150 χρόνια οι ανθρώπινες δραστηριότητες μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακας) έχουν οδηγήσει σε δραματική απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα της Γης. Η συσσώρευση CO₂ επηρεάζει την ακτινοβολία θερμαίνοντας έτσι την ατμόσφαιρα και τον ωκεανό. Όταν το CO₂ απορροφάται από τα ωκεάνια ύδατα προκαλεί χημικές

αντιδράσεις οι οποίες οδηγούν στην αύξηση του οξυγόνου (H^+) και τη μείωση της ιξώδους (αλκαλικότητας) του νερού, δημιουργώντας ένα πιο οξύ περιβάλλον. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως όξυνση των ωκεανών. Αυτές οι αλλαγές αναφέρονται ως «όξυνση των ωκεανών» επειδή το αυξημένο CO_2 μειώνει το pH του θαλασσινού νερού, δηλαδή αυξάνει την οξύτητά του (Gazeau et al., 2014).

Η όξυνση συνδέεται συνήθως με την ατμοσφαιρική ρύπανση που προκύπτει από ανθρωπογενώς προερχόμενο θείο (S) και άζωτο (N) ή αμμωνία, τα οποία π.χ. συμβαίνουν κατά την παραγωγή τροφίμων. Η ανθρωπογενής εναπόθεση ρύπων ενισχύει τους ρυθμούς όξυνσης οι οποίοι μπορεί στη συνέχεια να υπερβούν τη φυσική ικανότητα εξουδετέρωσης των εδαφών. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της όξυνσης είναι ένα από τα σημαντικότερα σύγχρονα περιβαλλοντικά ζητήματα παγκοσμίως. Το δυναμικό όξυνσης υπολογίζεται SO_2 -eq, όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1. Ισοδύναμοι παράγοντες για GWP, ευτροφισμό και όξυνση.

Ισοδύναμοι παράγοντες GWP:	
1 kg διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)	1 kg CO_2 -ep.
1 kg μεθάνιο (CH_4)	25 kg CO_2 -ep.
1 κιλό αέριο γέλιου (N_2O)	298 kg CO_2 -ep.
<i>Ισοδύναμοι παράγοντες ευτροφισμού:</i>	
1 κιλό νιτρικό (NO_3)	1 kg NO_3 -ep.
1 κιλό αμμωνία (NH_3)	3,64 kg NO_3 -ep.
1 kg φωσφορικό (PO_4^{3-})	10,45 kg NO_3 -ep.
<i>Ισοδύναμοι παράγοντες οξίνισης:</i>	
1 kg διοξείδιο του θείου (SO_2)	1 kg SO_2 -ep.

1 κιλό αμμωνία (NH ₃)>	1,88 kg SO ₂ -ep.

Η όξυνση του θαλασσινού νερού επηρεάζει άμεσα την προσαρμοστικότητα των θαλάσσιων ειδών μέσω αλλαγών στην ανάπτυξη, τη φυσιολογία, την αναπαραγωγή και τη θνησιμότητα τους. Τα δίθυρα είναι ασβεστοποιητικοί οργανισμοί με σημαντική οικολογική αξία και χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των επιπτώσεων στα υδάτινα οικοσυστήματα, ειδικά για την ανακούφιση του φαινομένου του θερμοκηπίου ως καταβόθρα άνθρακα και οι αποκρίσεις τους στην όξυνση των ωκεανών έχουν λάβει εκτενή προσοχή. Έχει αποσαφηνιστεί ικανοποιητικά ότι οι αποκρίσεις των θαλάσσιων δίθυρων σε μειωμένα επίπεδα pH στο θαλασσινό νερό προκύπτουν από την καταστολή της ανάπτυξης, τη διάλυση του κελύφους και την απώλεια βάρους των ιστών και η πτώση του pH είναι γνωστό ότι επηρεάζει αρνητικά τις διαδικασίες ασβεστοποίησης πολλών θαλάσσιων οργανισμών. Η διάλυση του κελύφους μπορεί να συμβεί για να αντισταθμίσει τη μείωση του pH που εκδηλώνεται καθώς η ανάπτυξη του κελύφους επιβραδύνεται κατά τη μακροχρόνια όξυνση (Michaelidis et al., 2005). Η πτώση της ανάπτυξης των δίθυρων που προκαλείται από την όξυνση των ωκεανών είναι γενικά αποδεκτό ότι σχετίζεται με τη μείωση της κατανομής ενέργειας (Xu et al., 2019).

Για να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις που σχετίζονται με την όξυνση των ωκεανών στην καλλιέργεια των μυδιών απαιτούνται περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη βιώσιμων τεχνικών καλλιέργειας. Μέτρα όπως η προσαρμογή των συνθηκών καλλιέργειας, η επιλογή ανθεκτικών ειδών μυδιών και η προώθηση της βιοποικιλότητας συμβάλλουν στην προστασία της καλλιέργειας των μυδιών από τις αρνητικές επιπτώσεις της όξυνσης. Επιπλέον, η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι σημαντική για την αντιμετώπιση του προβλήματος της όξυνσης των ωκεανών συνολικά (Wang et al., 2020).

Κεφάλαιο 3^ο ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Πληροφορίες για τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων

Τα Αποτελέσματα της Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής (LCA) για μια μονάδα εκτροφής μυδιών παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της δραστηριότητας και τη βιωσιμότητά της.

Μερικά αποτελέσματα που μπορούν να προκύψουν από μια μελέτη LCA για μια μονάδα εκτροφής μυδιών περιλαμβάνουν:

- 1) **Κατανάλωση πόρων:** Μπορεί να αναλυθεί η κατανάλωση πόρων όπως το νερό, η ενέργεια και οι πρώτες ύλες. Η μελέτη μπορεί να αποκαλύψει την ποσότητα των πόρων που απαιτούνται για την εκτροφή των μυδιών και τη δυνητική επίδρασή τους στο περιβάλλον.
- 2) **Εκπομπές αερίων:** Μπορούν να αξιολογηθούν οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄) και το οξείδιο του αζώτου (NO_x). Αυτές οι εκπομπές μπορεί να προέλθουν από διάφορες διαδικασίες όπως η χρήση ενέργειας, η μεταφορά και η επεξεργασία των μυδιών.
- 3) **Διαχείριση αποβλήτων:** Μπορεί να εξεταστεί η διαχείριση των αποβλήτων που παράγονται από τη μονάδα εκτροφής μυδιών. Αυτό περιλαμβάνει την ανάλυση των διαδικασιών επεξεργασίας των αποβλήτων και την εκτίμηση της πιθανής επίδρασής τους στο περιβάλλον.
- 4) **Επίπτωση στη βιοποικιλότητα:** Μπορεί να εξεταστεί η επίπτωση της μονάδας εκτροφής μυδιών στην τοπική βιοποικιλότητα και τα οικοσυστήματα. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την ανάλυση της επίδρασης στα υδάτινα οικοσυστήματα και την αλληλεπίδραση με τα τοπικά είδη.

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν αναλυτικά οι δυο τύποι εκτροφής μυδιών και τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν με προσέγγιση την εκτίμηση κύκλου ζωής LCA από την γένεση του προϊόντος ως και την έξοδο του. Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το FAETP (Freshwater aquatic ecotoxicity), ο ευτροφισμός (Eutrophication) και το δυναμικό όξυνσης (Acidification potential).

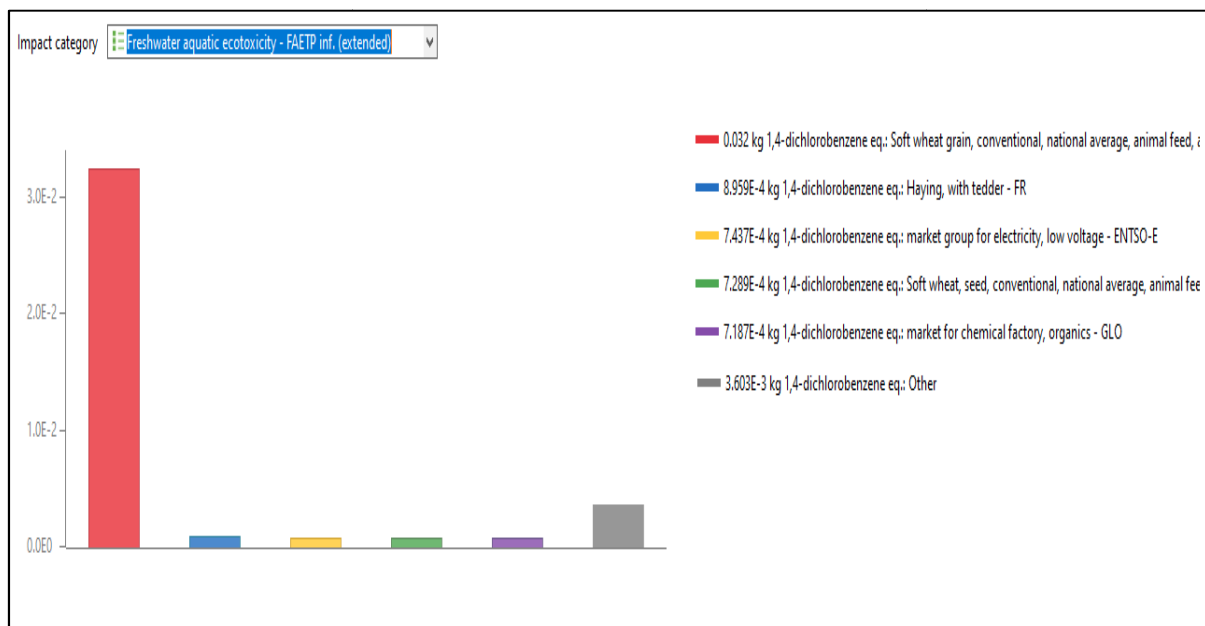
Αρχικά, το FAETP είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται στη μέθοδο αξιολόγησης Κύκλου Ζωής (LCA) για να ποσοτικοποιήσει την τοξικότητα για τα ενυδρεία γλυκού νερού. Οι τιμές FAETP εκφράζονται συνήθως σε μονάδες μάζας (όπως kg 1,4-dichlorobenzene eq.), που αντιστοιχούν στη μάζα του 1,4-dichlorobenzene που θα είχε την ίδια τοξικότητα με το εξεταζόμενο προϊόν ή διαδικασία. Για να προσδιοριστεί το FAETP σε μια μονάδα ανοιχτής εκτροφής μυδιών θα πρέπει να αξιολογηθούν οι συνθήκες καλλιέργειας, η χρήση πόρων, οι διαδικασίες επεξεργασίας αποβλήτων και άλλες παράμετροι που επηρεάζουν την περιβαλλοντική επίδραση της μονάδας.

Έπειτα, ο Ευτροφισμός (Eutrophication) αποτελεί ένα ακόμα δείκτη της μεθόδου Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής (LCA) και χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης της ευτροφιστικής μόλυνσης στα ύδατα.

Τέλος, το Δυναμικό όξυνσης (Acidification potential) είναι ένας ακόμα δείκτης που χρησιμοποιήθηκε στη μέθοδο αξιολόγησης Κύκλου Ζωής (LCA) για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης της όξυνσης στο περιβάλλον. Οι τιμές του Acidification potential εκφράζονται συνήθως σε μονάδες μάζας, όπως kg SO₂ eq., οι οποίες αντιστοιχούν στη μάζα του διοξειδίου του θείου (SO₂). Οι πηγές εκπομπής SO₂ μπορεί να περιλαμβάνουν την καύση ορυκτών καυσίμων όπως άνθρακας, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο και άλλες διεργασίες που παράγουν εκπομπές θείου.

3.2 Αξιολόγηση Κύκλου ζωής (LCA) σε μονάδα ανοιχτής εκτροφής μυδιών

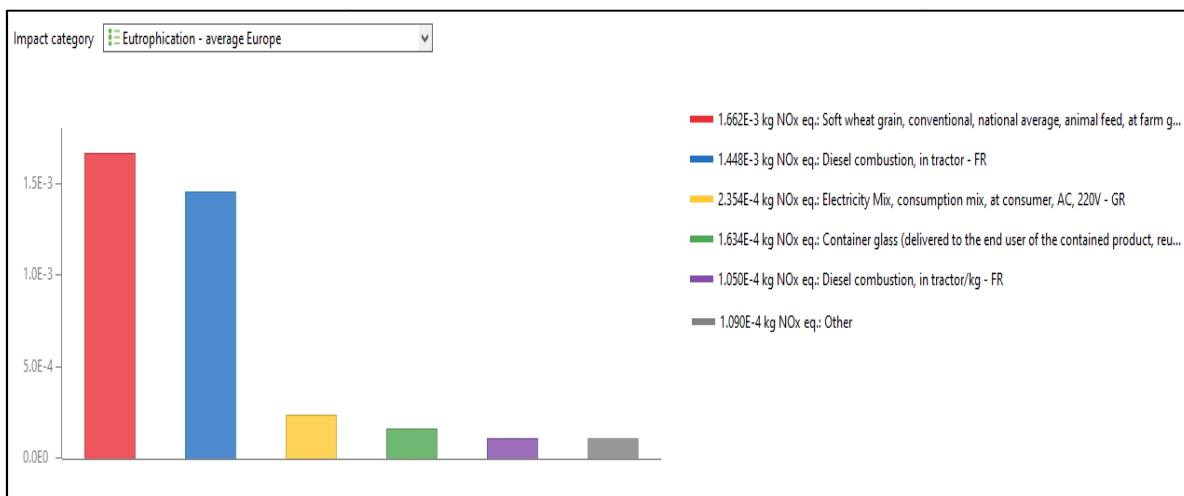
Όταν συνδυάζονται η LCA και η μονάδα ανοιχτής εκτροφής μυδιών μπορούμε να αξιολογήσουμε τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εκτροφής μυδιών σε ανοικτές εκτάσεις. Η LCA μπορεί να μας βοηθήσει να αναλύσουμε τις επιπτώσεις των διαφόρων φάσεων του κύκλου ζωής της μονάδας εκτροφής μυδιών όπως η κατασκευή των εγκαταστάσεων, η χρήση πόρων (νερού, ενέργειας) και η επεξεργασία των αποβλήτων. Αυτή η αξιολόγηση μπορεί να παράσχει πληροφορίες για τη βελτίωση της απόδοσης της μονάδας εκτροφής μυδιών από περιβαλλοντικής άποψης.



Εικόνα 5. Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP (kg 1,4-dichlorobenzene eq.) για μονάδα ανοιχτής εκτροφής (ΠΗΓΗ: Lolo. et al. / Journal of Environmental and Science Education 3 (2) 2023)

Στην παραπάνω εικόνα (Εικ. 5) παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της υδάτινης οικοτοξικότητας του γλυκού νερού σε μια μονάδα ανοιχτής εκτροφής. Το αποτέλεσμα της αξιολόγησης κύκλου ζωής (LCA), που παρείχε, 0,032 kg ισοδύναμο 1,4-διχλωροβενζολίου αντιπροσωπεύει τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο από την άποψη της οικοτοξικότητας των υδάτων του γλυκού νερού (FAETP). Προσδιορίζει ποσοτικά τις πιθανές τοξικές επιπτώσεις στα υδάτινα οικοσυστήματα του γλυκού νερού που είναι ισοδύναμη με την επίδραση του 1,4-διχλωροβενζολίου.

Διαφορετικές πρακτικές καλλιέργειας, περιοχές ή συστήματα παραγωγής ζωοτροφών μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικές τιμές FAETP. Η LCA λαμβάνει υπόψη διάφορους παράγοντες όπως οι γεωργικές εισροές, η χρήση γης, η κατανάλωση νερού και οι πιθανές εκπομπές ρύπων που σχετίζονται με την καλλιέργεια των μυδιών. Οι τιμές του διχλωροβενζολίου στις υπόλοιπες παραγωγές είναι αρκετά χαμηλότερες.

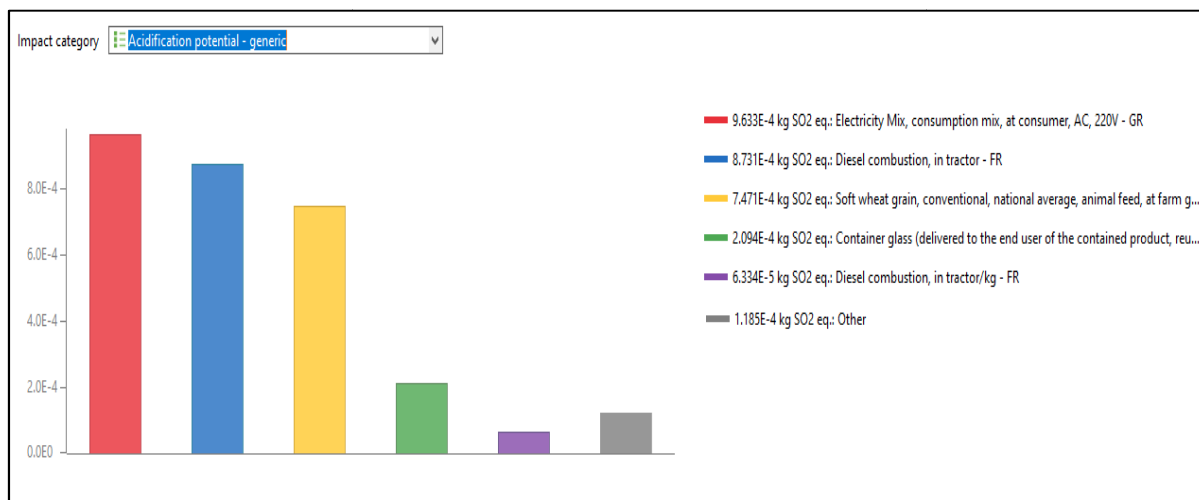


Εικόνα 6. Eutrophication (kg NOx eq.) για μονάδα ανοιχτής εκτροφής (ΠΗΓΗ: : Lolo. et al. / Journal of Environmental and Science Education 3 (2) 2023)

Ο ευτροφισμός σε μια μονάδα ανοιχτής εκτροφής μυδιών μπορεί να εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως οι τεχνικές καλλιέργειας, ο τύπος των τροφών που χρησιμοποιούνται, ο τρόπος διαχείρισης των αποβλήτων και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με την παραγωγή και επεξεργασία των μυδιών. Στην εικόνα 6 παρατηρείται ότι ο ευτροφισμός υπολογίζεται στα $1.662E-3$ kg NOx eq. (1.662 πολλαπλασιασμένο με 10^{-3} kg NOx eq.). Το NOx eq. όπως προαναφέρθηκε είναι μια μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται για να εκφράσει το δυναμικό των θρεπτικών ουσιών για την πρόκληση ευτροφισμού στο περιβάλλον. Εξαρτάται από τον τύπο των θρεπτικών ουσιών που απελευθερώνονται και το περιβαλλοντικό τους αποτέλεσμα. Για να κατανοήσουμε καλύτερα την ποσότητα αυτή ας μετατρέψουμε την εκφρασμένη επιστημονική σημείωση σε δεκαδική μορφή:

$$1.662E - 3 \text{ kg NOx eq.} = 0.001662 \text{ kg NOx eq.}$$

Γίνεται επομένως αντιληπτό, ότι μια μονάδα ανοιχτής εκτροφής μυδιών έχει δυναμικό να παράγει περίπου 0.001662 κιλά ισοδύναμα διοξειδίου του αζώτου (NOx eq.), που σχετίζεται με τον κίνδυνο του ευτροφισμού στο περιβάλλον.



Εικόνα 7. Acidification potential (kg SO₂ eq.) για μονάδα ανοιχτής εκτροφής (ΠΗΓΗ : Lolo. et al. / Journal of Environmental and Science Education 3 (2) 2023)

Το δυναμικό όξυνσης, εκφρασμένο σε kg ισοδύναμο SO₂, αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα όξυνσης λόγω μιας συγκεκριμένης δραστηριότητας ή διαδικασίας. Σε αυτή την περίπτωση αναφέρεται στις πιθανές επιπτώσεις της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.

Η παρεχόμενη τιμή της εικόνας 7, 9,633E-4 kg SO₂ eq. σημαίνει 0,0009633 kg SO₂ eq. ανά μονάδα λειτουργίας ή δραστηριότητας στο ανοιχτό εκτροφείο μυδιών. Το SO₂ eq. αποτελεί τη μονάδα που χρησιμοποιείται ως αναφορά για την αξιολόγηση του δυναμικού όξυνσης διαφόρων ουσιών ή εκπομπών. Αυτό υποδηλώνει ότι η μονάδα ανοιχτής εκτροφής μυδιών έχει δυναμικό να παράγει περίπου 0.0009633 κιλά ισοδύναμο διοξειδίου του θείου (SO₂ eq.) που σχετίζεται με το δυναμικό όξυνσης του περιβάλλοντος. Οι ορθές πρακτικές διαχείρισης θεωρούνται απαραίτητες σε ανοιχτές μονάδες εκμεταλλεύσεις μυδιών για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας όξυνσης και ως εκ τούτου την προστασία του περιβάλλοντος.

3.3 Αξιολόγηση Κύκλου ζωής (LCA) σε μονάδα κλειστής εκτροφής μυδιών

Η Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής (LCA) εξακολουθεί να είναι μια αποτελεσματική μεθοδολογία για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ακόμη και όταν αναφερόμαστε σε μονάδες κλειστής εκτροφής μυδιών. Όταν εφαρμόζεται σε μια

κλειστή μονάδα καλλιέργειας μυδιών η LCA μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό και τον ποσοτικό προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τα διαφορετικά στάδια της μυδοκαλλιέργειας και να προτείνει στρατηγικές για τη βελτίωση της συνολικής βιωσιμότητας.

Η LCA σε αυτή την περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της κλειστής εκτροφής μυδιών σε διάφορα στάδια του κύκλου ζωής όπως η κατασκευή των εγκαταστάσεων, η προμήθεια και η χρήση πόρων (νερού, ενέργειας), η επεξεργασία των αποβλήτων και η παραγωγή των μυδιών.

Η εφαρμογή της αξιολόγησης κύκλου ζωής σε μια μονάδα κλειστής εφαρμογής μυδιών ακολουθεί τα εξής στάδια:

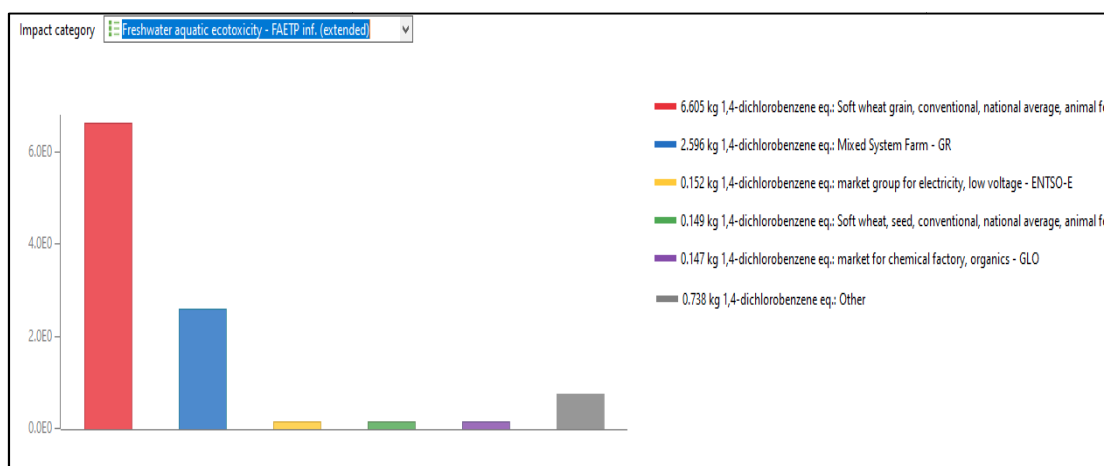
- 1) Ορισμός στόχου και πεδίο εφαρμογής:** Το πρώτο βήμα είναι να καθοριστεί ο στόχος και το εύρος της αξιολόγησης. Για μια κλειστή μονάδα καλλιέργειας μυδιών ο στόχος μπορεί να είναι η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τις εργασίες μυδοκαλλιέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης, της συντήρησης, της συγκομιδής και της επεξεργασίας μυδιών. Το πεδίο εφαρμογής καθορίζει τη λειτουργική μονάδα (π.χ. έναν τόνο μύδια συγκομιδής) και τα όρια της αξιολόγησης όπως τις συγκεκριμένες εισροές, εκροές και διαδικασίες που εξετάζονται.
- 2) Ανάλυση αποθέματος:** Σε αυτό το στάδιο συλλέγονται δεδομένα για τις εισροές και τις εκροές της κλειστής μονάδας καλλιέργειας μυδιών. Αυτό περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την κατασκευή και τη συντήρηση γεωργικών κατασκευών (π.χ. σχοινιά, παραγάδια, σχεδίες), τη χρήση ενέργειας, την κατανάλωση νερού, τις ζωοτροφές ή τις προστιθέμενες θρεπτικές ουσίες, τα απόβλητα που παράγονται και τις εκπομπές που παράγονται κατά τη διαδικασία καλλιέργειας. Συμπεριλαμβάνονται επίσης δεδομένα για υλικά που χρησιμοποιούνται στην υποδομή όπως σχοινιά και σημαδούρες.
- 3) Εκτίμηση επιπτώσεων:** Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης τα δεδομένα απογραφής που συλλέγονται αναλύονται για την αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι κοινές κατηγορίες επιπτώσεων περιλαμβάνουν το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (αποτύπωμα άνθρακα), την όξυνση, τον

ευτροφισμό, τη χρήση νερού και τις επιπτώσεις στα ενδιαιτήματα/οικοσυστήματα. Ο στόχος είναι να κατανοήσουμε πώς κάθε στάδιο της μυδοκαλλιέργειας συμβάλλει σε διαφορετικές περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις.

- 4) **Ερμηνεία:** Τα αποτελέσματα της εκτίμησης επιπτώσεων ερμηνεύονται για τον προσδιορισμό των κύριων σημείων ή περιοχών με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις εντός του κύκλου ζωής της κλειστής μονάδας καλλιέργειας μυδιών. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να βοηθήσουν τους αγρότες και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να δώσουν προτεραιότητα σε ενέργειες για τη βελτίωση της βιωσιμότητας.
- 5) **Στρατηγικές βελτίωσης:** Με βάση την ερμηνεία των αποτελεσμάτων LCA, η κλειστή μονάδα καλλιέργειας μυδιών μπορεί να διερευνήσει και να εφαρμόσει στρατηγικές για τη μείωση των περιβαλλοντικών του επιπτώσεων. Για παράδειγμα η βελτιστοποίηση της χρήσης των ζωοτροφών για την ελαχιστοποίηση της απόρριψης θρεπτικών συστατικών, η υιοθέτηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή η διερεύνηση επιλογών ανακύκλωσης για τα απόβλητα.
- 6) **Ανάλυση ευαισθησίας:** Τα αποτελέσματα LCA μπορούν να επηρεαστούν από υποθέσεις ποιότητα δεδομένων και άλλους παράγοντες. Η ανάλυση ευαισθησίας βοηθά στον εντοπισμό των παραμέτρων με τη μεγαλύτερη επίδραση στα αποτελέσματα βελτιώνοντας την ευρωστία των ευρημάτων.
- 7) **Επικοινωνία:** Το τελικό βήμα περιλαμβάνει την κοινοποίηση των αποτελεσμάτων και των πληροφοριών της LCA στους ενδιαφερόμενους φορείς συμπεριλαμβανομένων των αγροτών, των καταναλωτών και των ρυθμιστικών αρχών. Αυτό προάγει τη διαφάνεια και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις της κλειστής εκμετάλλευσης μυδιών.

Διεξάγοντας μια LCA για μια κλειστή μονάδα καλλιέργειας μυδιών γίνονται συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών μεθόδων εκτροφής μυδιών (ανοικτή εκτροφή έναντι κλειστής εκτροφής) οι χειριστές μπορούν να αποκτήσουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της μονάδας και να εργαστούν για βιώσιμες πρακτικές που ελαχιστοποιούν τις αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η LCA θεωρείται ένα ισχυρό εργαλείο για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών

επιπτώσεων της κλειστής εκτροφής μυδιών επιτρέποντας μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των προκλήσεων και των ευκαιριών για τη βελτίωση της βιωσιμότητας στον τομέα αυτό.



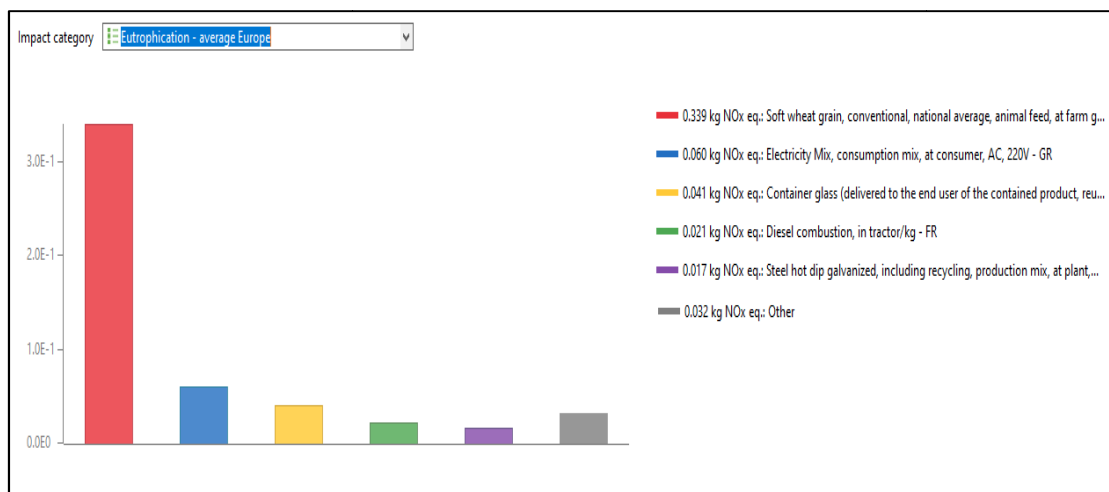
Εικόνα 8. Freshwater aquatic ecotoxicity - FAETP (kg 1,4-dichlorobenzene eq.) για μονάδα κλειστής εκτροφής (ΠΗΓΗ: Lolo. et al. / Journal of Environmental and Science Education 3 (2) 2023)

Η περίπτωση που παρουσιάζεται στην εικόνα 8 αναφέρεται στον πιθανό αντίκτυπο μιας κλειστής μονάδας μυδοκαλλιέργειας στα υδάτινα οικοσυστήματα (Lolo. et al. / Journal of Environmental and Science Education 3 (2), 2023).

Η παρεχόμενη τιμή, 6605 kg ισοδύναμο 1,4-διχλωροβενζολίου, σημαίνει 6605 κιλά ισοδύναμου 1,4-διχλωροβενζολίου ανά μονάδα λειτουργίας ή δραστηριότητας στην κλειστή μονάδα μυδοκαλλιέργειας. Το 1,4-διχλωροβενζόλιο χρησιμοποιείται ως ουσία αναφοράς για την αξιολόγηση της πιθανής οικοτοξικότητας διαφόρων ουσιών ή εκπομπών. Η τιμή FAETP λαμβάνει υπόψη την πιθανή τοξικότητα των ουσιών που απελευθερώνονται ή παράγονται στη μυδοκαλλιέργεια και την επίδρασή τους στους υδρόβιους οργανισμούς.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι πρακτικές υδατοκαλλιέργειας μπορεί να έχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις συμπεριλαμβανομένης της απελευθέρωσης θρεπτικών ουσιών, χημικών ουσιών και αποβλήτων στα γύρω υδάτινα σώματα. Η σωστή διαχείριση και οι βιώσιμες πρακτικές υδατοκαλλιέργειας είναι απαραίτητες για

την ελαχιστοποίηση της πιθανής οικοτοξικότητας και τη διατήρηση της υγείας των οικοσυστημάτων.

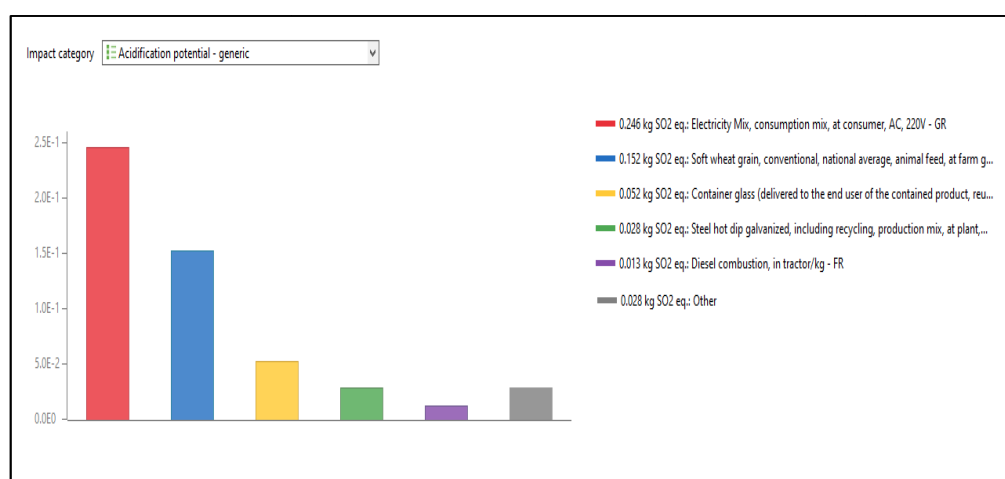


Εικόνα 9. Eutrophication (kg NOx eq.) για μονάδα κλειστής εκτροφής (ΠΗΓΗ: Lolo. et al. / Journal of Environmental and Science Education 3 (2) 2023))

Στο διάγραμμα της εικόνας 9 αναδεικνύεται το αντίκτυπο μιας κλειστής εγκατάστασης υδατοκαλλιέργειας μυδιών (μυδοκαλλιέργεια) στον ευτροφισμό (Lolo. et al. / Journal of Environmental and Science Education 3 (2) 2023). Η παρεχόμενη τιμή, 0,339 kg ισοδύναμο NOx, σημαίνει 0,339 κιλά ισοδύναμο οξειδίων του αζώτου ανά μονάδα λειτουργίας ή δραστηριότητας στο κλειστό εκτροφείο μυδιών. Ο ευτροφισμός παρουσιάζεται όταν υπερβολικά θρεπτικά συστατικά όπως το άζωτο και ο φώσφορος απελευθερώνονται στα υδάτινα σώματα οδηγώντας στην υπερανάπτυξη των φυκιών και των υδρόβιων φυτών. Αυτή η υπερβολική ανάπτυξη μπορεί να μειώσει τα επίπεδα οξυγόνου στο νερό προκαλώντας ζημιά στην υδρόβια ζωή και διαταράσσοντας το οικοσύστημα.

Η εξίσωση NOx. αποτελεί τη μονάδα η οποία χρησιμοποιείται ως αναφορά για την αξιολόγηση του δυναμικού ευτροφισμού διαφόρων ουσιών ή εκπομπών. Η δυναμική τιμή ευτροφισμού λαμβάνει υπόψη την πιθανή απελευθέρωση οξειδίων του αζώτου (NOx) ή άλλων ουσιών που περιέχουν άζωτο στο εκτροφείο μυδιών και την επίδρασή τους στον ευτροφισμό στο περιβάλλον.

Η σωστή διαχείριση των θρεπτικών ουσιών και ο έλεγχος των αποβλήτων στις πρακτικές υδατοκαλλιέργειας είναι ουσιαστικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας ευτροφισμού και τη διατήρηση της υγείας των υδάτινων οικοσυστημάτων. Οι βιώσιμες πρακτικές υδατοκαλλιέργειας στοχεύουν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στην προώθηση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας του κλάδου.



Εικόνα 10. Acidification potential (kg SO2 eq.) για μονάδα κλειστής εκτροφής (ΠΗΓΗ: Lolo. et al. / Journal of Environmental and Science Education 3 (2) 2023).

Το δυναμικό όξυνσης, εκφρασμένο σε kg SO2 eq. (ισοδύναμο διοξειδίου του θείου), αντιπροσωπεύει τη δυνατότητα όξυνσης λόγω συγκεκριμένης δραστηριότητας ή διαδικασίας. Το παραπάνω διάγραμμα (Εικ. 10) αναφέρεται στον πιθανό αντίκτυπο μιας κλειστής μονάδας υδατοκαλλιέργειας μυδιών στην όξυνση (Lolo. et al. / Journal of Environmental and Science Education 3 (2) 2023).

Η παρεχόμενη τιμή, 0,246 kg ισοδύναμο SO2, σημαίνει 0,246 κιλά ισοδύναμου διοξειδίου του θείου ανά μονάδα λειτουργίας ή δραστηριότητας στο κλειστό εκτροφείο μυδιών. Το διοξείδιο του θείου (SO2) είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που συμβάλλουν στην όξινη βροχή όταν αντιδρά με το νερό και άλλες ενώσεις στην ατμόσφαιρα. Η όξινη βροχή μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, το έδαφος και τα υδάτινα σώματα. Η δυναμική τιμή όξυνσης λαμβάνει υπόψη την

πιθανή απελευθέρωση διοξειδίου του θείου (SO₂) ή άλλων ουσιών που περιέχουν θείο στο εκτροφείο μυδιών και τις επιπτώσεις τους στην όξυνση στο περιβάλλον.

Οι κατάλληλες στρατηγικές διαχείρισης και μετριασμού όπως η μείωση των εκπομπών και η βελτίωση του ελέγχου των αποβλήτων είναι απαραίτητες για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας όξυνσης και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι βιώσιμες πρακτικές υδατοκαλλιέργειας στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στην προώθηση της υγείας των οικοσυστημάτων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, η παρούσα μελέτη έχει πραγματοποιήσει μια συστηματική ανασκόπηση μελετών στη βιβλιογραφία σχετικά με τη διαχείριση υγρών απορριμμάτων στις μηχανολογικές εγκαταστάσεις και στη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων της μυδοκαλλιέργειας με την μέθοδο της αξιολόγησης κύκλου ζωής, LCA. Τα υγρά απόβλητα μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές αρνητικές κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Γενικά, τα υγρά απόβλητα μπορεί να μολύνουν το επιφανειακό έδαφος, τα υδατικά συστήματα και τις υπόγειες υδάτινες πηγές.

Επομένως, οι εγκαταστάσεις μηχανολογικού εξοπλισμού οφείλουν να έχουν σωστή διαχείριση των υγρών αποβλήτων που σχετίζονται με τις κατασκευές. Το κύριο πρόβλημα με τα υγρά απόβλητα που παράγονται λόγω μηχανολογικών δραστηριοτήτων είναι, ότι μπορεί να περιέχουν σωματίδια, στοιχεία και χημικές ουσίες επιβλαβείς για τον άνθρωπο, τα ζώα και το περιβάλλον (Singh & Singh 2017). Οι κύριες αιτίες εισόδου των υγρών αποβλήτων των μηχανολογικών εγκαταστάσεων στα υδατικά συστήματα και στο περιβάλλον είναι: η διάβρωση από καθαρούς χώρους, απορροή όμβριων υδάτων, βροχή, γεωγραφία, γεωλογία, τοπογραφία εδάφους, ανεπαρκείς μέθοδοι ελέγχου υγρών αποβλήτων, περιβαλλοντικές απορρίψεις από μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, έλλειψη γνώσης, ζητήματα στο σχεδιασμό και έλλειψη χρηματοδότησης. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν επίσης να αναγνωριστούν ως οι

προκλήσεις ή ως οι περιορισμοί των πρακτικών διαχείρισης υγρών αποβλήτων (Gayani et al., 2023).

Η περιβαλλοντική διαχείριση υγρών αποβλήτων εγκαταστάσεων μηχανολογικού εξοπλισμού με τη διερεύνηση και μελέτη συνθηκών καλλιέργειας των μυδιών μπορούν να είναι πολύτιμη για την πρακτική της καλλιέργειας μυδιών και την περιβαλλοντική της βιωσιμότητα. Μέσα από την μελέτη που παρουσιάστηκε εξάχθηκαν ορισμένα συμπεράσματα, που είναι τα εξής:

- 1) **Μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων:** Η περιβαλλοντική διαχείριση των υγρών αποβλήτων μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, της κατανάλωσης πόρων και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου που σχετίζονται με την καλλιέργεια μυδιών.
- 2) **Βέλτιστες πρακτικές:** Η μελέτη των συνθηκών καλλιέργειας μπορεί να αναδείξει βέλτιστες πρακτικές για την αποτελεσματική διαχείριση των μυδιών και την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον.
- 3) **Ενίσχυση της βιωσιμότητας:** Μέσω της περιβαλλοντικής διαχείρισης, οι εγκαταστάσεις μπορούν να βελτιστοποιήσουν τις πρακτικές τους ώστε να ενισχύσουν την βιωσιμότητα της καλλιέργειας μυδιών σε μακροπρόθεσμο επίπεδο.
- 4) **Πλήρης κατανόηση του κύκλου ζωής:** Η αξιολόγηση κύκλου ζωής μπορεί να βοηθήσει στην πλήρη κατανόηση των επιπτώσεων της καλλιέργειας μυδιών από την αρχή έως το τέλος, προσδιορίζοντας τις περιβαλλοντικές προκλήσεις και τις ευκαιρίες βελτίωσης.
- 5) **Συμμόρφωση με κανονιστικά πρότυπα:** Η διαχείριση των υγρών αποβλήτων μπορεί να βοηθήσει τις μονάδες καλλιέργειας να συμμορφωθούν με τα περιβαλλοντικά κανονιστικά πρότυπα και να αποφύγουν πιθανά πρόστιμα ή κυρώσεις.

Η ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος έχει αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα των θαλασσών και των ωκεανών. Οι επιπτώσεις αυτές αντικατοπτρίζουν τον καθολικό αντίκτυπο της ανθρώπινης δραστηριότητας και της ανεύθυνης διαχείρισης των αποβλήτων. Μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια βιοποικιλότητας καθώς μειώνει την ποικιλία των ειδών που μπορούν να επιβιώσουν στα υδάτινα

οικοσυστήματα. Η αλλαγή της οικολογικής ισορροπίας μπορεί να οδηγήσει στην εξαφάνιση ορισμένων ειδών επηρεάζοντας τις τροφικές αλυσίδες και τον κύκλο ζωής πολλών υδροβίων οργανισμών. Η ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων. Οι ρύποι μπορούν να εισχωρήσουν στην τροφική αλυσίδα επηρεάζοντας την ποιότητα των τροφίμων που καταναλώνουμε και πιθανόν να προκαλέσουν ασθένειες.

Η μυδοκαλλιέργεια μπορεί να βοηθήσει στην μείωση της ρύπανσης του υδάτινου περιβάλλοντος και στην προστασία του θαλάσσιου οικοσυστήματος. Τα μύδια είναι υδρόβια μαλάκια που απορροφούν και επεξεργάζονται οργανικά και ανόργανα υλικά από το νερό παρέχοντας ουσιαστικά μια φυσική διαδικασία φιλτραρίσματος και καθαρισμού.

Παρακάτω αναφέρονται τρεις μείζονες τρόποι με τους οποίους η μυδοκαλλιέργεια μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της ρύπανσης του υδατικού περιβάλλοντος:

- 1. Φιλτράρισμα του νερού:** Οι μύδια φιλτράρουν το νερό για την τροφοδοσία τους και παράλληλα εξουδετερώνουν ορισμένα ρυπογόνα υλικά. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας απομακρύνουν ποσοστό των ρύπων από το νερό και βοηθούν στη βελτίωση της ποιότητας του νερού.
- 2. Απορρόφηση των θρεπτικών ουσιών:** Τα μύδια απορροφούν τις θρεπτικές ουσίες όπως τα νιτρικά και τα φωσφορικά άλατα από το νερό για να υποστηρίξουν την ανάπτυξή τους. Αυτό μειώνει τη διαθεσιμότητα αυτών των θρεπτικών ουσιών στο νερό μειώνοντας την πιθανότητα ευνοϊκών συνθηκών για την εκτελεστική της υπερανάπτυξης φυτών.
- 3. Δημιουργία τεχνητών ύφαλων:** Οι μυδοκαλλιέργειες μπορούν να λειτουργούν ως δημιουργοί τεχνητών ύφαλων προσφέροντας μια επιφάνεια στήριξης για επιδοτημένα είδη ή ενυδρεία. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση της βιοποικιλότητας και της παραγωγικότητας στις περιοχές όπου διεξάγονται οι καλλιέργειες.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η μυδοκαλλιέργεια μπορεί να βοηθήσει στην μείωση της ρύπανσης του υδατικού περιβάλλοντος αλλά δεν είναι από μόνη της

πανάκεια. Πρέπει να συνδυαστεί με προσπάθειες περιβαλλοντικής διαχείρισης και ολοκληρωμένες προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του υδατικού περιβάλλοντος (Schernewski et al., 2019)

Ειδικότερα εφαρμόστηκε η μέθοδος της LCA για τη μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μελλοντικής ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας μυδιών ενισχύοντας την ιδέα ότι η αξιολόγηση κύκλου ζωής είναι απαραίτητο να εφαρμόζεται στον τομέα παραγωγής θαλασσινών. Είναι απαραίτητο να αναφερθεί ότι καθώς αναπτύσσεται η βιομηχανία μυδιών η περιβαλλοντική πτυχή κρίνεται περισσότερο σημαντική και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά των θαλάσσιων περιοχών, που διατίθενται για την υδατοκαλλιέργεια, θα πρέπει να λαμβάνονται περισσότερο υπόψη (Lourguioui et al., 2017).

Η LCA έχει αποδειχθεί κατάλληλη για την επιδίωξη διαφάνειας και υπευθυνότητας σε όλη την εμπορική αλυσίδα για αυτά τα θαλασσινά είδη. Οι μυδοκαλλιέργειες προσδιορίστηκαν επίσης ως σχετική πιθανή πηγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτή η εργασία αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς τη χρήση της αξιοποίησης της LCA των μυδιών ως πιθανής βάσης για τη συγκριτική περιβαλλοντική αξιολόγηση της εκτεταμένης υδατοκαλλιέργειας έναντι της εντατικής υδατοκαλλιέργειας ή άλλων εναλλακτικών θαλασσινών ειδών (Iribarren et al., 2010).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Καλλέργης Γ.Α., (2001). *Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*, Β΄ Έκδοση Τόμος, Γ΄.
- Abdulla, F., Abu Qdais, H. & Rabi, A., (2008) Site investigation on medical waste management practices in northern Jordan. *Waste Management*, 28, 450-458.
- Al-Yaqout, A.F. (2003). Assessment and Analysis of Industrial Liquid Waste and Sludge Disposal at Unlined Landfill Sites in Arid Climate. *Waste Management*, 23, 817-824. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(03\)00036-9](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(03)00036-9)
- Anderson, J.L., Asche, F., Garlock, T. & Chu, J. (2017). Aquaculture: Its Role in the Future of Food. In *Frontiers of Economics and Globalization*; Emerald Publishing Limited: Bingley, UK, Volume 17, pp. 159–173
- Beiras, R. (2018). Liquid Wastes. *Marine Pollution*, 53–67. doi:10.1016/b978-0-12-813736-9.00005-2
- Bohrer B.M. (2017). Review: Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. *Trends Food Sci. Technol.*; 65:103–112. doi: 10.1016/j.tifs.2017.04.016.
- Buck, B.H., Ebeling, M.W. & Michler-Cieluch, T. (2010). MUSSEL CULTIVATION AS A CO-USE IN OFFSHORE WIND FARMS: POTENTIAL AND ECONOMIC FEASIBILITY. *Aquac. Econ. Manag.*, 14, 255–281
- Cahill B., Lindahl O. & Zaiko A., (2012). *Mussel cultivation*. In book: SUBMARINER Compendium: An assessment of innovative and sustainable uses of Baltic marine resources. Maritime Institute in Gdańsk, pp.77-102.
- Calder P.C. (2015). Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. *Biochim. Biophys. Acta.*;1851:469–484. doi: 10.1016/j.bbailip.2014.08.010.

- Cao, L., Diana, J.S. & Keoleian, G.A. (2013). Role of life cycle assessment in sustainable aquaculture. *Rev. Aquac.*, 5, 61–71.
- Chi C.F., Zhang J.S., Wu C.W., Xu M.Y. & Wang B. (2012). Analysis and evaluation of nutrition composition of mussel. *Adv. Mater. Res.*, 554–556:1455–1458.
- Chislock, M. F., Doster, E., Zitomer, R. A. & Wilson, A. E. (2013) Eutrophication: Causes, Consequences, and Controls in Aquatic Ecosystems. *Nature Education Knowledge* 4(4):10.
- Fuentes A., Fernández-Segovia I., Escriche I. & Serra J.A. (2009). Comparison of physico-chemical parameters and composition of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk.) from different Spanish origins. *Food Chem.* ;112:295–302. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.05.064
- FAO, (2015). *Fishery statistical collections: global aquaculture production*. FAO, Rome.
- FAO, (2020). *The state of world fisheries and aquaculture*. FAO, Rome.
- FAO (2020b). The State of World Fisheries and Aquaculture. Sustainability in action. In Nature and Resources.
- Ferreira J.G., Hawkins A.J.S. & Bricker S.B. (2007). Management of productivity, environmental effects and profitability of shellfish aquaculture—*The Farm Aquaculture Resource Management (FARM) model*. *Aquaculture.* ; 264:160–174. doi: 10.1016/j.aquaculture.2006.12.017.
- Folke, C. & Kautsky, N. (1992). Aquaculture with its environment: Prospects for sustainability. *Ocean Coast. Manag.* , 17, 5–24.
- Frösell M., (2019). Mussel farming using various techniques evaluated using Life Cycle Assessment (LCA). *Biology and Environmental Science*.
- Gayani K., Akvan G., Pabasara W. M., Wijeratne U., Nick M., Nilupa U., Perera S., Crimston A. & Aliviano P. (2023). Liquid waste management in the construction

- sector: a systematic literature review, *International Journal of Construction Management*. DOI: 10.1080/15623599.2023.2211416.
- Gazeau, F., Alliouane, S., Bock, C., Bramanti, L., LÃ³pez Correa, M., Gentile, M., & Ziveri, P. (2014). Impact of ocean acidification and warming on the Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*). *Frontiers in Marine Science*, 1. doi:10.3389/fmars.2014.00062
- Gren, I.-M., Lindahl, O., & Lindqvist, M. (2009). Values of mussel farming for combating eutrophication: An application to the Baltic Sea. *Ecological Engineering*, 35(5), 935–945. doi:10.1016/j.ecoleng.2008.12.033
- Grienke U., Silke J. & Tasdemir D. (2014). Bioactive compounds from marine mussels and their effects on human health. *Food Chem.* ;142:48–60. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.07.027
- Guinee, J. B. (2002). Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(5), 311–313. doi:10.1007/bf02978897
- Iribarren, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2010). Revisiting the Life Cycle Assessment of mussels from a sectorial perspective. *Journal of Cleaner Production*, 18(2), 101–111. doi:10.1016/j.jclepro.2009.10.009
- ISO (2006a). *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. ISO 14040:2006(E). International Organization for Standardization. Geneva. Switzerland.
- KAISER M.J., I. LAING, S.D. UTTING & G.M. BURNELL , (1998). *ENVIRONMENTAL IMPACTS OF BIVALVE MARICULTURE*. The Centre for Environment, Fisheries& Aquaculture Science Conwy Laboratory Benarth Rd., United Kingdom.
- Konstantinou, Z. I., Kombiadou, K., & Krestenitis, Y. N. (2015). Effective mussel-farming governance in Greece: Testing the guidelines through models, to evaluate

- sustainable management alternatives. *Ocean & Coastal Management*, 118, 247–258. doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.05.011
- Kotta, J., Futter, M., Kaasik, A., Liversage, K., Rätsep, M., Barboza, F. R., & Virtanen, E. (2020). Cleaning up seas using blue growth initiatives: Mussel farming for eutrophication control in the Baltic Sea. *Science of The Total Environment*, 709, 136144. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.136144
- Langan, R. (2012). *Mussel Culture , Open Ocean Innovations*. In: Meyers, R.A. (eds) Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. Springer, New York, NY.
- Lourguioui, H., Brigolin, D., Boulahdid, M., & Pastres, R. (2017). A perspective for reducing environmental impacts of mussel culture in Algeria. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(8), 1266–1277. doi:10.1007/s11367-017-1261-7
- Lozano Sebastián, Iribarren Diego, Teresa Moreira María, Gumersindo Feijoo, (2010). *Environmental impact efficiency in mussel cultivation*.
- Muralikrishna, I. V., & Manickam, V. (2017). Life Cycle Assessment. *Environmental Management*, 57–75. doi:10.1016/b978-0-12-811989-1.00005-1
- Michaelidis, B., Ouzounis, C., & Paleras, A., (2005). *Effects of long-term moderate hypercapnia on acidebase balance and growth rate in marine mussels Mytilus galloprovincialis*. Mar. Ecol. Prog. Series 293, 109e118
- Naylor RL., Hardy RW., Buschmann AH., Bush SR., Cao L., Klinger DH., Little DC., Lubchenco J., Shumway SE., & Troell M. (2021). A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, 591(7851):551–563.
- Paerl, H. W. & Paul, V. J., 2012. *Climate change: links to global expansion of harmful cyanobacteria*. Water Research 46, 1349-63.

- Patterson A.C., Chalil A., Henao J.J.A., Streit I.T. & Stark K.D. (2015). Omega-3 polyunsaturated fatty acid blood biomarkers increase linearly in men and women after tightly controlled intakes of 0.25, 0.5, and 1 g/d of EPA + DHA. *Nutr. Res.*;35:1040–1051. doi: 10.1016/j.nutres.2015.09.016
- Pearson R., (1999). Water resources Health Environment and Development, *Environmental indicators of healthy water resources*, Chapter 2.
- Priyanka Verma. (2021). *Liquid Waste Management*. Research & Reviews: A Journal of Toxicology.; 11(3), 18–24p.
- Prou, J. 7 Goulletquer, P. (2002). The French mussel industry: present status and perspectives. *Bull Aquacul. Assoc. Can.* , 3, 17–23.
- Schernewski G., Friedland R., Buer A.L., Dahlke S., Drews B., Höft S., Klumpe T., Schadach M., Schumacher J. & Zaiko A., (2019). Ecological-social-economic assessment of zebra-mussel cultivation scenarios for the Oder (Szczecin) Lagoon, *Journal of Coastal Conservation* 23, pages 913–929
- Schindler, D.W., (2006). *Recent advances in the understanding and management of eutrophication*. *Limnology and Oceanography* 51, 356-363.
- Singh RL & Singh PK. (2017). *Global environmental problems*. In: Principles and applications of environmental biotechnology for a sustainable future. Singapore: Springer, p. 13–41.
- Suplicy, F.M. (2018). A review of the multiple benefits of mussel farming. *Rev. Aquac.* , 12, 204–223.
- Traverso, M., Asdrubali, F., Francia, A. & Finkbeiner, M. (2012). Towards life cycle sustainability assessment: an implementation to photovoltaic modules. *Int. J. Life Cycle Assess.* , 17, 1068–1079.

- Tamburini, E., Turolla, E., Fano, E. A., & Castaldelli, G. (2020). Sustainability of Mussel (*Mytilus galloprovincialis*) Farming in the Po River Delta, Northern Italy, Based on a Life Cycle Assessment Approach. *Sustainability*, 12(9), 3814. doi:10.3390/su12093814
- Theodorou, J. A., Viaene, J., Sorgeloos, P., & Tzovenis, I. (2011). Production and Marketing Trends of the Cultured Mediterranean Mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamarck 1819, in Greece. *Journal of Shellfish Research*, 30(3), 859–874. doi:10.2983/035.030.0327
- Widheden J. & Ringstrom E. (2007). *Life Cycle Assessment*. Handbook for Cleaning/Decontamination of Surfaces I. Johansson and P. Somasundaran
- Wijsman, J. W. M., Troost, K., Fang, J., & Roncarati, A. (2018). Global Production of Marine Bivalves. Trends and Challenges. *Goods and Services of Marine Bivalves*, 7–26. doi:10.1007/978-3-319-96776-9_2
- Wang, N., Ivey, C. D., Ingersoll, C. G., Brumbaugh, W. G., Alvarez, D., Hammer, E. J., Barnhart, M. C. (2016). Acute sensitivity of a broad range of freshwater mussels to chemicals with different modes of toxic action. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(3), 786–796. doi:10.1002/etc.3642
- Wang, X., Shang, Y., Kong, H., Hu, M., Yang J., Deng Y., & Wang Y., (2020). Combined effects of ocean acidification and hypoxia on the early development of the thick shell mussel *Mytilus coruscus*. *Helgoland Marine Research* 74, 3,
- Xu, M., Sun, T., Tang, X., Lu, K., Jiang, Y., Cao, S., & Wang, Y. (2019). Title: CO₂ and HCl-induced seawater acidification impair the ingestion and digestion of blue mussel *Mytilus edulis*. *Chemosphere*, 124821. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.124821