



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΜΠΑΛΝΤΟΥΜΗΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

Μεθοδολογίες εκτίμησης κόστους πετρελαιοκηλίδων

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.) «Έρευνα και Εκμετάλλευση Υδρογονανθράκων»

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022





ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΜΠΑΛΝΤΟΥΜΗΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

Μεθοδολογίες εκτίμησης κόστους πετρελαιοκηλίδων

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στο πλαίσιο του Δ.Π.Μ.Σ. «Έρευνα και
Εκμετάλλευση Υδρογονανθράκων»

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 26/01/2023

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Δημήτρης Δαμίγος, Καθηγητής Ε.Μ.Π., Επιβλέπων
Περικλής Γκόγκας, Καθηγητής Δ.Π.Θ., Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Μαρία Μενεγάκη, Καθηγήτρια ΕΜΠ, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής



© Δημήτρης Μπαλντούμης, Γεωλόγος, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Μεθοδολογίες εκτίμησης κόστους πετρελαιοκηλίδων – *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Dimitris Balntoumis, Geologist, 2022

All rights reserved.

Oil spill cost estimation methodologies – *Master Thesis*

Citation:

Μπαλντούμης, Δ., 2022. Μεθοδολογίες εκτίμησης κόστους πετρελαιοκηλίδων. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 65 σελ.

Balntoumis, D., 2022. – Oil spill cost estimation methodologies. Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 65 pp.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

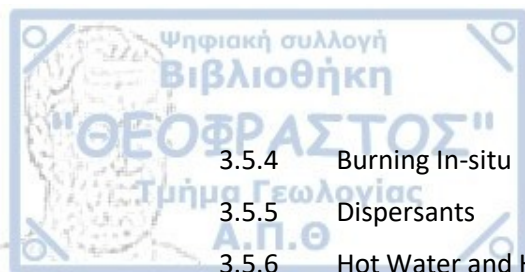
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Περιεχόμενα

Περίληψη

Summary	i
Εισαγωγή	ii
Κεφάλαιο 1. Λίγα λόγια για το πετρέλαιο	1
1.1 Ορισμός και σύσταση πετρελαίου	1
1.2 Εξόρυξη πετρελαίου	2
1.3 Σχέση του πετρελαίου με το θαλάσσιο περιβάλλον	3
Κεφάλαιο 2. Πετρελαιοκηλίδες στο θαλάσσιο περιβάλλον	7
2.1 Δημιουργία πετρελαιοκηλίδων	7
2.2 Συνέπειες φαινομένου πετρελαιοκηλίδας	9
2.2.1 Επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον	9
2.2.2 Επιπτώσεις για τους ανθρώπους	10
2.2.3 Οικονομικές επιπτώσεις	11
2.2.4 Κοινωνικές επιπτώσεις	13
2.3 Αναφορά σε περιστατικά δημιουργίας πετρελαιοκηλίδας που πήραν μεγάλη έκταση ¹⁴	
2.3.1 Ixtoc I	14
2.3.2 Nowruz	15
2.3.3 Ecofisk	16
2.3.4 Funiwa 5	16
2.3.5 Montara	17
2.4 Αναφορά σε περιστατικά δημιουργίας πετρελαιοκηλίδας που έλαβαν χώρα στην Ελλάδα.	17
Κεφάλαιο 3. Επικινδυνότητα ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας σε οικονομικό επίπεδο	19
3.1 Τρόποι εκτίμησης επικινδυνότητας πετρελαιοκηλίδων	19
3.2 Κόστη που προκύπτουν από τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδων	21
3.3 Τρόποι εκτίμησης συνολικού κόστους πετρελαιοκηλίδας	22
3.4 Κριτήρια αποδοχής κοινωνικού ρίσκου κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων	27
3.4.1 Ποσοτικοποίηση κοινωνικού ρίσκου	27
3.4.2 Διαδικασία λήψης αποφάσεων	29
3.5 Μέθοδοι αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδας	29
3.5.1 Oil Booms	29
3.5.2 Skimmers	30
3.5.3 Sorbents	30



3.5.4	Burning In-situ	31
3.5.5	Dispersants	31
3.5.6	Hot Water and High-Pressure Washing	31
3.5.7	Manual Labour	32
3.5.8	Bioremediation	32
3.5.9	Chemical stabilisation of oil by elastomizers	32
3.5.10	Natural Recovery	33
Κεφάλαιο 4.	Εκτίμηση κόστους διαρροής πετρελαίου	34
4.1	Μοντέλα εκτίμησης κόστους διαρροής πετρελαίου	34
4.1.1	Μοντέλο EPA BOSCEM	34
4.1.2	Μοντέλο OSRCEAT	36
Κεφάλαιο 5.	Εφαρμογή των μοντέλων στο ατύχημα του Ixtoc I	45
5.1	Παρουσίαση και προέλευση δεδομένων	45
5.2	Εφαρμογή του EPA BOSCEM μοντέλου στα δεδομένα	46
5.3	Εφαρμογή του OSRCEAT μοντέλου στα δεδομένα	47
Κεφάλαιο 6.	Συμπεράσματα	51
	Βιβλιογραφία	52
	Παράρτημα I: Πίνακες μοντέλου EPA BOSCEM	57
	Παράρτημα II: Πίνακες μοντέλου OSRCEAT	62





Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός μεθόδων εκτίμησης του κόστους πετρελαιοκηλίδων. Οι πετρελαιοκηλίδες στο θαλάσσιο περιβάλλον προκαλούν καταστροφικές συνέπειες σε πολλαπλά επίπεδα, κάτι που επιβεβαιώνεται και μέσω αναφορών σε περιστατικά που πήραν μεγάλη έκταση. Η εκτίμηση κόστους πετρελαιοκηλίδας περιλαμβάνει πολλές παραμέτρους που είναι απαραίτητο να συνυπολογιστούν ώστε το αποτέλεσμα να είναι όσο πιο κοντά στο άρτιο γίνεται. Οι παράμετροι αφορούν χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες του εκάστοτε ατυχήματος, κριτήρια αποδοχής κοινωνικού ρίσκου, καθώς και τρόπους που επιλέγονται για την αποκατάσταση των ατυχημάτων. Ως μέσο εκτιμήσεων θα παρουσιαστούν τα μοντέλα EPA BOSCEM και OSRCEAT. Τα μοντέλα αυτά, αφού αναλυθούν ως προς τη μεθοδολογική τους προσέγγιση και τις παραμέτρους τους, θα εφαρμοστούν ενδεικτικά για την εκτίμηση κόστους της πετρελαιοκηλίδας που δημιουργήθηκε από το ατύχημα στην εξέδρα εξόρυξης πετρελαίου στον κόλπο Μεξικού το 1979. Τέλος, η εργασία θα ολοκληρωθεί με ορισμένα συμπεράσματα αναφορικά με όσα αναλύθηκαν παραπάνω.

Η διπλωματική εργασία διαρθρώνεται ως ακολούθως:

Εισαγωγή: Δίνονται χρήσιμοι ορισμοί για την καλύτερη κατανόηση των εννοιών που θα αναφερθούν, καθώς και η διατύπωση του στόχου της εργασίας.

Κεφάλαιο 1: Ορισμός και σύσταση πετρελαίου καθώς και η αλληλεπίδρασή του με το θαλάσσιο περιβάλλον. Ανάλυση των διεργασιών κατά τη διαρροή πετρελαίου στη θάλασσα.

Κεφάλαιο 2: Επιπτώσεις φαινομένου πετρελαιοκηλίδας σε κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Επιπλέον γίνεται αναφορά περιστατικών πετρελαιοκηλίδων που πήραν μεγάλη έκταση, καθώς και ορισμένων που έλαβαν χώρα στην Ελλάδα.

Κεφάλαιο 3: Προσδιορισμός επικινδυνότητας ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας, τρόποι εκτίμησης επικινδυνότητας και κόστους ατυχημάτων. Αναφορά σε κριτήρια αποδοχής κοινωνικού ρίσκου και μέθοδοι αποκατάστασης μετά τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδων.

Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση μοντέλων εκτίμησης κόστους διαρροής πετρελαίου EPA BOSCEM και OSCREAT, πλήρης περιγραφή και ορισμός μοντέλων και μεθοδολογιών.

Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή μοντέλων κεφαλαίου 3 στο ατύχημα του 1979 στον κόλπο Μεξικού, Ixtoc I.

Συμπεράσματα: Σύνοψη όσων αναφέρθηκαν και προοπτικές επέκτασης της έρευνας.



Summary

The aim of this thesis is to identify methods for estimating the cost of oil spills. Oil spills in the marine environment cause catastrophic consequences on multiple levels, which is confirmed through reports of incidents that have taken place on a large scale. Oil spill cost estimation involves many parameters that need to be taken into account in order for the result to be as close to even as possible. The parameters relate to the characteristics and details of the accident in question, social risk acceptance criteria, as well as the methods chosen for oil spill remediation. The EPA BOSCEM and OSRCEAT models will be presented as a means of estimation. These models, after being analyzed and their methodologies given, will be applied to estimate the cost of the oil spill created by the 1979 Gulf of Mexico oil rig accident. Finally, the thesis will conclude with some conclusions regarding what has been analyzed above.

The thesis is structured as follows:

Chapter 1: Definition and composition of oil and its interaction with the marine environment. Analysis of the processes involved in oil spills at sea.

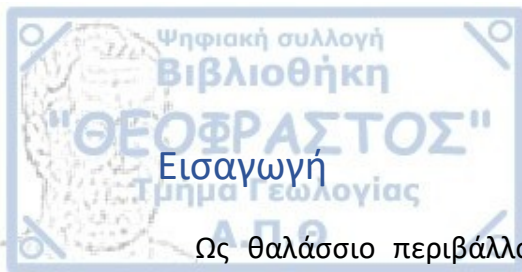
Chapter 2: Social, economic and environmental impacts of oil spill phenomenon. In addition, the chapter reports on incidents of oil spills that have been widespread, as well as some that have taken place in Greece.

Chapter 3: Risk assessment of oil spill accidents, ways of assessing the risk and costs of accidents. Description of social risk acceptance criteria and methods of remediation after oil spills.

Chapter 4: Presentation of EPA BOSCEM and OSCEAT oil spill cost estimation models, detailed description and definition of models and methodologies.

Chapter 5: Application of Chapter 3 models to the 1979 Gulf of Mexico accident, Ixtoc I.

Conclusions: Summary of the main findings of the thesis and suggestions for future research.



Ως θαλάσσιο περιβάλλον ορίζεται το περιβάλλον της θάλασσας το οποίο περιλαμβάνει φυσικά, χημικά, γεωλογικά, βιολογικά και γενετικά συστατικά. Πρόκειται για ένα περιβάλλον στο οποίο περιλαμβάνονται οι ωκεανοί, οι θάλασσες, οι κόλποι, οι εκβολές ποταμών και άλλα μεγάλα υδάτινα σώματα (lawinsider, n.d.).

Μέρος του θαλάσσιου περιβάλλοντος είναι και τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Τα θαλάσσια οικοσυστήματα είναι τα μεγαλύτερα υδρόβια οικοσυστήματα της Γης και διακρίνονται από τα ύδατα που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι, σε αντίθεση με τα οικοσυστήματα γλυκού νερού. Τα θαλάσσια ύδατα καλύπτουν περισσότερο από το 70% της επιφάνειας της γης και αυτό ήδη τα καθιστά πάρα πολύ σημαντικά στη ζωή του ανθρώπου. Το θαλάσσιο περιβάλλον, εκτός από το ότι παρέχει ένα σπίτι για έως και 48.000 θαλάσσια όντα, είναι υπεύθυνο και για μια σειρά λειτουργιών που πραγματοποιούνται μέσω αυτού, ενισχύοντας την ανθρώπινη ευημερία τόσο σε κοινωνικό όσο και σε οικονομικό – πολιτιστικό επίπεδο (Wikipedia). Με τα χρόνια και γνωρίζοντας και κατανοώντας όλο και περισσότερο το περιβάλλον αυτό, καταλαβαίνουμε ότι οι θάλασσες και οι ωκεανοί λειτουργούν ως ένα συνεκτικό οικοσύστημα, στο οποίο όλα τα είδη και οι βιότοποι είναι ενεργά και βασικά συστατικά. Υπάρχει επίσης μια αναπτυγμένη σχέση μεταξύ των θαλάσσιων οικοσυστημάτων και των ανθρώπινων κοινοτήτων. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες μέσα στα θαλάσσια οικοσυστήματα εδώ και χιλιετίες έχουν προκαλέσει αλλαγές, μέσω συχνά περίπλοκων αλληλεπιδράσεων, οι συνέπειες των οποίων δεν άργησαν να φανούν.

Ως ρύπανση του θαλάσσιου περιβάλλοντος από πετρέλαιο, θεωρείται ένα συμβάν ή μια ακολουθία συμβάντων, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε διαφυγή πετρελαίου, απειλώντας έτσι τις ακτές και το θαλάσσιο περιβάλλον. Αυτά τα περιστατικά απαιτούν άμεση δραστηριοποίηση ή οποιαδήποτε άλλη επείγουσα αντίδραση. Τέτοιου είδους διαδικασίες μπορεί να είναι είτε μικρής κλίμακας είτε οργανωμένες γιγάντιες επιχειρήσεις διάσωσης και αποκατάστασης της ζημιάς (Τριανταφύλλου και Βεργέτης, 2004).

Οι πηγές της θαλάσσιας ρύπανσης διακρίνονται σε (Αλεξόπουλος, 2005):

(α) Πελαγική: που προκαλείται κυρίως από πλοία και πιο συγκεκριμένα δεξαμενόπλοια, την εκμετάλλευση υφαλοκρηπίδας καθώς και την τις πλατφόρμες πετρελαίου και φυσικού αερίου.

β) Παράκτια: προέρχεται από τους αγωγούς κάθε είδους που καταλήγουν στη θάλασσα και από τη χρήση των υδάτων στα εργοστάσια μέσω των ποταμών.

(γ) Εναέρια: προκαλείται από τις απορρίψεις, κυρίως κηροζίνης, των αεροπλάνων.

Γενικά πιστεύεται ότι τα ατυχήματα εμπορικών πλοίων ή οι καταστροφές σε πετρελαϊκές πλατφόρμες, όπως η έκρηξη της πλατφόρμας εξορύξεων Deepwater Horizon που έλαβε χώρα το 2010 στο Μεξικό είναι οι κύριοι λόγοι της πετρελαϊκής ρύπανσης. Έτσι οι πετρελαιοκηλίδες αφού παρασυρθούν στην ακτή πλήττουν σημαντικά τη θαλάσσια και παράκτια χλωρίδα και πανίδα. Παρόλο που τέτοιου είδους ατυχήματα προκαλούν σημαντικές καταστροφές αντιπροσωπεύουν μόνο το 10% της ρύπανσης των θαλασσών από το πετρέλαιο.

Μπορεί η εκμετάλλευση του πετρελαίου να έχει τρομερά οφέλη για την ανθρωπότητα προκαλεί όμως και σοβαρά προβλήματα στο περιβάλλον και στην κοινωνία. Το πιο σημαντικό είναι ότι η εξόρυξη, η διύλιση και η καύση καυσίμων πετρελαίου απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες αερίων θερμοκηπίου, επομένως το πετρέλαιο είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, τμήματα της βιομηχανίας πετρελαίου κατέστειλαν ενεργά την επιστήμη και την πολιτική που στόχευε στην πρόληψη της κλιματικής κρίσης. Άλλες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις προέρχονται από την εξερεύνηση και την εκμετάλλευση αποθεμάτων πετρελαίου, όπως συμβαίνει στις πετρελαιοκηλίδες, στις οποίες θα εστιάσει και η παρούσα εργασία, αλλά και στη ρύπανση του αέρα και των υδάτων στους τόπους χρήσης. Έτσι η ανθρώπινη υγεία επηρεάζεται αρνητικά από όλες αυτές τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Μια εξέδρα πετρελαίου είναι μια πλατφόρμα γεώτρησης στον ωκεανό που χρησιμοποιείται στην αναζήτηση φυσικού αερίου και αργού πετρελαίου. Πρόκειται στη ουσία για μια κατασκευή πάνω από μια πετρελαιοπηγή στη στεριά ή στη θάλασσα που έχει προσαρτημένο ειδικό εξοπλισμό για τη γεώτρηση και την αφαίρεση πετρελαίου από το έδαφος (Britannica, n.d.). Μετά την αφαίρεση του πετρελαίου σειρά έχει η μεταφορά του η οποία πραγματοποιείται με τη χρήση πετρελαιοφόρων. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι πετρελαιοφόρων, τα δεξαμενόπλοια προϊόντων και τα δεξαμενόπλοια αργού πετρελαίου. Τα πρώτα έχουν σχεδιαστεί για να μεταφέρουν τα εξευγενισμένα προϊόντα από τα διυλιστήρια σε σημεία κοντά σε αγορές κατανάλωσης. Τα δεξαμενόπλοια αργού πετρελαίου μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ακατέργαστου αργού πετρελαίου στα διυλιστήρια από το σημείο εξόρυξης (Hayler και Keever, 2003).

Το πετρέλαιο είναι πλέον απαραίτητο στη ζωή του ανθρώπου και βελτιώνει άμεσα την ποιότητα ζωής του. Από την άλλη οι καταστροφικές συνέπειες που προκαλούνται κατά τη διαδικασία άντλησής του είναι εμφανείς σε πολλούς τομείς. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι αφού γίνει αναφορά στις συνέπειες αυτές, εστιάζοντας σε εκείνες που προκύπτουν από τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδων στο θαλάσσιο περιβάλλον, να προσδιοριστούν τρόποι εκτίμησης του κόστους που προκύπτει από αυτές. Θα παρουσιαστούν δύο μέθοδοι εκτίμησης του κόστους αυτού, οι οποίες θα εφαρμοστούν για την εκτίμηση του κόστους πετρελαιοκηλίδας του μεγαλύτερου ατυχήματος που έγινε το 1979 στον κόλπο Μεξικού.

Κεφάλαιο 1. Λίγα λόγια για το πετρέλαιο

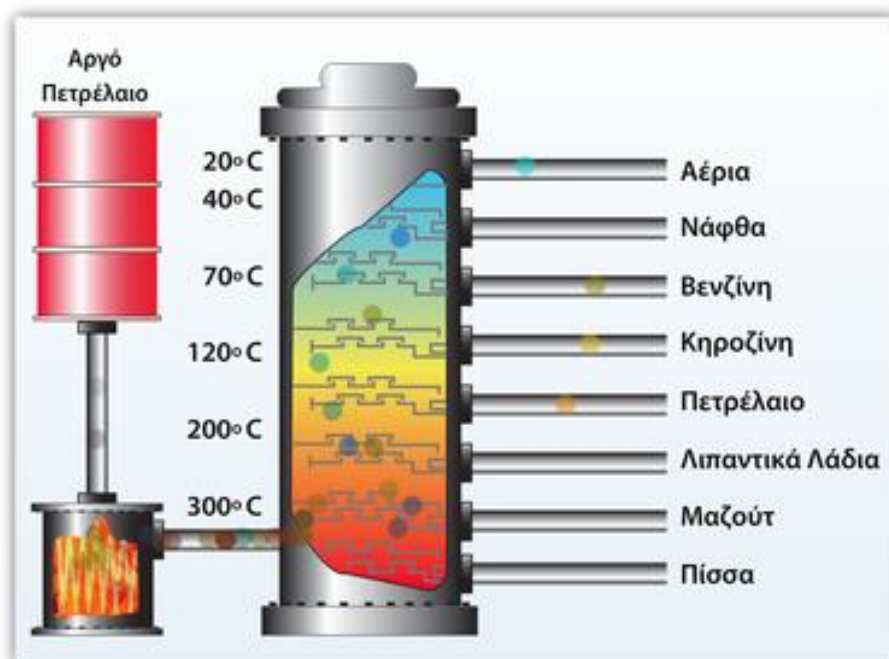
1.1 Ορισμός και σύσταση πετρελαίου

Το πετρέλαιο είναι ένα φυσικό, κιτρινωπό-μαύρο υγρό που βρίσκεται σε γεωλογικούς σχηματισμούς κάτω από την επιφάνεια της Γης. Αποτελείται από φυσικούς υδρογονάνθρακες διαφόρων μοριακών βαρών και μπορεί να περιέχει διάφορες οργανικές ενώσεις (βλέπε εικόνα 1). Συνήθως διυλίζεται σε διάφορους τύπους καυσίμων και είναι γνωστό ότι ο κόσμος καταναλώνει 87.500.000 βαρέλια τη μέρα (US Energy Information Administration, 2011).

Το αργό πετρέλαιο ή αλλιώς ακατέργαστο ορίζεται ως ένα μείγμα συγκριτικά πτητικών υγρών υδρογονανθράκων, ενώσεις που αποτελούνται κατά κύριο λόγο από άνθρακα και υδρογόνο, αν και περιέχει επίσης κάποιο ποσοστό οξυγόνου, θείου και αζώτου. Αυτά τα στοιχεία σχηματίζουν μια μεγάλη ποικιλία από πολύπλοκες μοριακές δομές, μερικές μάλιστα από τις οποίες δεν μπορούν να αναγνωριστούν με ευκολία. Ανεξαρτήτως παραλλαγών, σχεδόν όλο το ακατέργαστο πετρέλαιο περιέχει από 82% - 87% άνθρακα κατά βάρος και 12% - 15% υδρογόνο κατά βάρος (Kilian, 2012). Τα αργά πετρέλαια χαρακτηρίζονται συνήθως παραφίνες ή αρωματικά ανάλογα με τον τύπο της ένωσης υδρογονανθράκων που είναι διαδεδομένος σε αυτά. Οι πιο κοινοί υδρογονάνθρακες στο αργού πετρελαίου είναι οι παραφίνες. Ορισμένες υγρές παραφίνες αποτελούν τα κύρια συστατικά της βενζίνης με αποτέλεσμα να εκτιμώνται ιδιαίτερα. Τα αρωματικά σε γενικές γραμμές αποτελούν μόνο ένα μικρό ποσοστό των περισσότερων ακατέργαστων. Το πιο κοινό αρωματικό στο αργό πετρέλαιο είναι το βενζόλιο, ένα δημοφιλές δομικό υλικό στην πετροχημική βιομηχανία. Επειδή το αργό πετρέλαιο αποτελεί ένα μείγμα τέτοιων πολύ διαφορετικών συστατικών αλλά και αναλογιών, οι φυσικές του ιδιότητες ποικίλλουν επίσης ευρέως. Πιθανώς η πιο σημαντική φυσική ιδιότητα είναι το ειδικό βάρος, δηλαδή η αναλογία του βάρους καθαρού νερού και ίσων όγκων αργού πετρελαίου σε τυπικές συνθήκες (Kilian, 2012).

Το αργό πετρέλαιο επίσης μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως «γλυκό» ή «ξινό» ανάλογα με το επίπεδο του θείου (Karakitsos, 2014). Τα γλυκά ακατέργαστα προϊόντα έχουν περιεκτικότητα 0,5% σε θείο ή λιγότερο, και τα ξινά ακατέργαστα έχουν περιεκτικότητα 1% σε θείο ή περισσότερο (Stefanski, 2011). Γενικά, όσο πιο βαρύ είναι το ακατέργαστο πετρέλαιο, τόσο μεγαλύτερη είναι και η περιεκτικότητά του σε θείο. Η παραπάνω ποσότητα θείου αφαιρείται από το αργό πετρέλαιο κατά τη διάρκεια της διύλισης, επειδή απελευθερώνονται τα οξείδια του θείου στην ατμόσφαιρα κατά τη διαδικασία καύσης του πετρελαίου με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένας σημαντικός ρύπος (Lipri, 2012).

Κατά τη διαδικασία επεξεργασίας του πετρελαίου, απομακρύνονται οι ενώσεις του θείου από το ακατέργαστο πετρέλαιο. Έπειτα, το πετρέλαιο διοχετεύεται στην αποστακτική στήλη, και από εκεί γίνεται η κλασματική απόσταξη. Τα μόρια των χημικών ενώσεων του πετρελαίου διαχωρίζονται παράγοντας έτσι τα κλάσματα πετρελαίου (Weil, 1989).



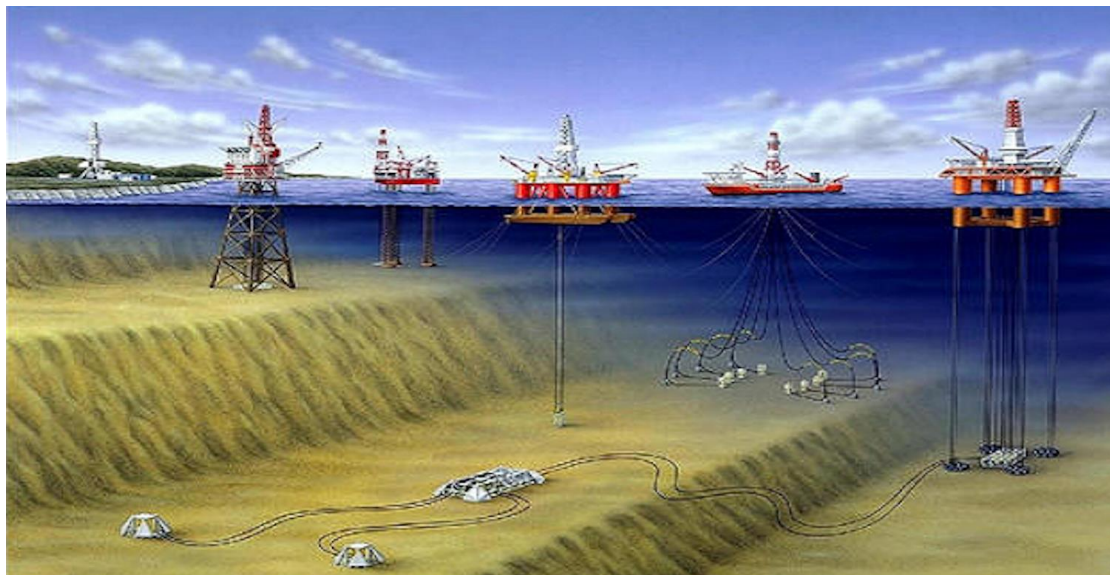
Εικόνα 1: Επεξεργασία αργού πετρελαίου

Πηγή: *einaizetemaenergeias*

1.2 Εξόρυξη πετρελαίου

Από τα βάθη του χρόνου, η εξόρυξη πετρελαίου αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την παρουσία πετρελαιοειδών στο περιβάλλον της θάλασσας. Η μεγαλύτερη πλατφόρμα εξόρυξης πετρελαίου, Perdidio, η οποία βρίσκεται στον κόλπο του Μεξικού έχει τη δυνατότητα να παράγει ημερησίως 100.000 βαρέλια πετρελαίου (βλέπε εικόνα 2). Σταδιακά όμως με τη βελτίωση της τεχνολογίας και την εξειδίκευση κατάλληλου ανθρώπινου δυναμικού έχουν μειωθεί σημαντικά οι διαρροές, οι οποίες είναι αποτέλεσμα ατυχημάτων ή λειτουργίας σε καθημερινή βάση. Κατά τη διαδικασία εξόρυξης πετρελαίου οι μεγαλύτερες εκπομπές πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον προέρχονται από το νερό που παράγεται, το οποίο περιορίζεται σε υπόγειους σχηματισμούς που έρχονται στην επιφάνεια. Επιπλέον, μπορεί να είναι ποσότητα νερού το οποίο χρησιμοποιείται για να υλοποιηθεί η εξόρυξη του πετρελαίου. Το νερό αυτό όμως έχει έρθει σε επαφή με το πετρέλαιο, με αποτέλεσμα να περιέχει ίχνη πετρελαίου, χημικά εξόρυξης, άλατα, βαρέα μέταλλα καθώς και ραδιενέργεια. Χαρακτηρίζεται ως “βιομηχανικό απόβλητο” το οποίο χρειάζεται την

κατάλληλη επεξεργασία και διάθεση. Εκτός από το νερό που παράγεται, υπάρχει και η λάσπη που δημιουργείται από τις γεωτρήσεις, η οποία έχει ρυπανθεί από το πετρέλαιο. Ακόμη, υπάρχουν περιπτώσεις εξόρυξης πετρελαίου που το πετρέλαιο διαρρέεται με έκρηξη και τότε εκλύονται στη θάλασσα μεγάλες ποσότητες πετρελαίου πριν ακόμα η διαρροή τεθεί υπό έλεγχο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το συμβάν στη νορβηγική πλευρά της Βόρειας Θάλασσας τον Απρίλιο του 1977, το οποίο είχε ως αποτέλεσμα τη διαρροή 20.000 με 30.000 τόνων πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η διαρροή αυτή βέβαια ήταν πολύ μικρή σε σχέση με εκείνη που συνέβη το 1991, όπου απελευθερώθηκαν 1.000.000 τόνοι πετρελαίου στον Περσικό Κόλπο. Στο σύνολό της, η εξόρυξη πετρελαίου είναι υπεύθυνη κατά 5,7% του συνολικού πετρελαίου που διαρρέεται παγκοσμίως (National Research Council, 2003).



Εικόνα 2: Η μεγαλύτερη πλατφόρμα εξόρυξης πετρελαίου "Predidio της Shell"

Πηγή: nautilia, 2015

1.3 Σχέση του πετρελαίου με το θαλάσσιο περιβάλλον

Από τη στιγμή διαρροής του αργού πετρελαίου στη θάλασσα ξεκινάνε ορισμένες διεργασίες μετασχηματισμού του, οι οποίες καταλήγουν σε ουσίες οι οποίες έχουν διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες σε σχέση με τις πρωταρχικές. Οι διεργασίες οι οποίες πραγματοποιούνται είναι οι παρακάτω:

- Εξάπλωση

Το πετρέλαιο αποτελεί ένα υγρό μίγμα υδρογονανθράκων με μικρότερη πυκνότητα από το νερό με αποτέλεσμα να μην διαλύεται εύκολα στο νερό. Επομένως

μετά την εισβολή στη θάλασσα ξεκινάει η εξάπλωση στην επιφάνεια του νερού και δημιουργώντας έτσι ένα λεπτό υμένιο (πετρελαιοκηλίδα). Αρχικά ξεκινάει η εξάπλωση του πετρελαίου ως μια συνεκτική κηλίδα και με γοργούς ρυθμούς αρχίζει να διασπάται σε κομμάτια. Κατά την εξάπλωση, γίνεται μεταβολή της σύστασής του πετρελαίου και παρατηρείται μείωση του πάχους της πετρελαιοκηλίδας. Επιπλέον μεταβάλλεται ακόμα και το χρώμα της από μαύρο σε ασημί. Το πάχος που έχει μια πετρελαιοκηλίδα γενικά μπορεί να είναι πιο μικρό από ένα μικρόμετρο και να φτάνει έως και μερικά χιλιοστά (Clark, 2003).

- Μετακίνηση

Οι πετρελαιοκηλίδες δεν παραμένουν σταθερές σε ένα σημείο, αλλά μετακινούνται με τέτοια ταχύτητα που ισούται με το 60% της ταχύτητας που έχουν τα ρεύματα και περίπου με το 3% της ταχύτητας που έχει ο άνεμος. Σε θάλασσες και εκβολές οι οποίες είναι κλειστές, οι παλίρροιες και τα θαλάσσια ρεύματα έχουν περισσότερες επιδράσεις στη μετακίνηση της πετρελαιοκηλίδας σε αντίθεση με τον άνεμο (Clark, 2003).

- Εξάτμιση

Η σύσταση της πετρελαιοκηλίδας δεν παραμένει ίδια αλλά αλλάζει συνεχώς από τη στιγμή της διαρροής. Ο ρυθμός εξάτμισης εξαρτάται από πέντε βασικές κατηγορίες:

- Θερμοκρασία
- Ταχύτητα ανέμου
- Ηλιακή ακτινοβολία
- Πάχος πετρελαιοκηλίδας
- Τύπος πετρελαίου.

Επομένως, σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και δυνατών ανέμων ευνοείται η εξάτμιση. Επιπλέον όσο πιο μικρό είναι το πάχος μιας πετρελαιοκηλίδας τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η επιφάνειάς από πλευράς όγκου και τόσο ευκολότερη η εξάτμιση (Clark, 2003).

- Διάλυση

Η διαλυτότητα που έχουν τα συστατικά του πετρελαίου όταν εισέλθουν στο νερό είναι αρκετά μικρή και μειώνεται δραματικά καθώς αυξάνεται το μοριακό τους βάρος. Με τον τρόπο αυτό, το ποσοστό του πετρελαίου που διαλύεται στο νερό είναι πάρα πολύ μικρό και ο σχετικός ρυθμός με τον οποίο γίνεται η διάλυση αυτή εξαρτάται από την τάση που έχουν οι ατμοί και την διαλυτότητα κάθε υδρογονάνθρακα στο νερό. Το ποσοστό αυτό αυξάνεται σε συνθήκες που υπάρχουν χαμηλές θερμοκρασίες και ανατάραξης νερών οι οποίες δημιουργούν τριβή, ενώ σε αντίθετη περίπτωση σημαντικότερη είναι η εξάτμιση (Clark, 2003).

- Διασπορά

Η διασπορά είναι αποτέλεσμα των κυμάτων και της τριβής στην επιφάνεια του νερού διασπώντας την πετρελαιοκηλίδα σε μικρά σταγονίδια. Στην περίπτωση που αυτά τα σταγονίδια πετρελαίου έχουν μικρή διάμετρο, διατηρούνται πιο εύκολα στην επιφάνεια του νερού σχηματίζοντας έτσι ένα γαλάκτωμα πετρελαίου. Στην περίπτωση μεγαλύτερων σταγονιδίων, αυτά επανέρχονται στην επιφάνεια του νερού με αποτέλεσμα να ενώνονται μαζί με άλλα δημιουργώντας μια καινούρια πετρελαιοκηλίδα (ITOPF, 2011). Με τη διασπορά ενισχύεται η απομάκρυνση του πετρελαίου από την επιφάνεια με αποτέλεσμα τα πουλιά που εισέρχονται στην επιφάνεια της θάλασσας για να βρουν την τροφή τους να μην εκτίθενται πλέον σε αυτό. Επιπλέον, η δημιουργία μικρών σταγονιδίων με αυξημένη την αναλογία επιφάνειας προς όγκο συγκριτικά με αυτή της πετρελαιοκηλίδας επιταχύνει τη διαδικασία της βιοδιάσπασης πετρελαίου. Αυτό, διότι τα βακτήρια έχουν στη διάθεσή τους μεγαλύτερη επιφάνεια ώστε να μπορέσουν να δράσουν. Στην πραγματικότητα όμως, η διασπορά δε σημαίνει ότι εξαλείφει το πετρέλαιο από τη θάλασσα, όπως κάνει η εξάτμιση ή η μικροβιακή διάσπαση, απλώς το μεταφέρει σε όλη τη στήλη του νερού. Η φύση του πετρελαίου αλλά και η κατάσταση του θαλάσσιου περιβάλλοντος επηρεάζει τη διασπορά και υπό συγκεκριμένες συνθήκες, μια πετρελαιοκηλίδα θα μπορούσε να διασπαστεί εντελώς ακόμα και σε λίγες μόλις μέρες. Η τάση που έχει το πετρέλαιο διαμορφώνεται και από χημικές ουσίες που αναφέρονται ως διασκορπιστικά. Αντίθετα, υπάρχουν και ιξώδη πετρέλαια τα οποία τείνουν να δημιουργούν κηλίδες μεγάλου πάχους στην επιφάνεια του νερού και δεν διασπείρονται ούτε με τη χρήση διασκορπιστικών (ITOPF, 2011a).

- Γαλακτωματοποίηση

Τα περισσότερα πετρέλαια έχουν απορροφητικότητα στο νερό σχηματίζοντας έτσι γαλακτώματα νερού σε πετρέλαιο, κάτι το οποίο μπορεί να αυξήσει τον όγκο της πετρελαιοκηλίδας έως και πέντε φορές. Ορισμένα συστατικά σε συνδυασμό με άνεμους πάνω από τρία μποφόρ μπορούν να καθορίσουν τον ρυθμό που δημιουργείται το γαλάκτωμα αυτό. Πετρέλαια που έχουν μεγαλύτερο ιξώδες, δυσκολεύουν τη διαδικασία γαλακτωματοποίησης συγκριτικά με τα πιο ρευστά πετρέλαια (ITOPF, 2011a). Κατά τη διαδικασία εξέλιξης του γαλακτώματος, το πετρέλαιο δεν παραμένει σταθερό, αλλά μετακινείται εξαιτίας των κυμάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της μείωσης της διαμέτρου των σταγονιδίων που έχουν δημιουργηθεί στο νερό και την σταδιακή αύξηση του ιξώδες του γαλακτώματος. Καθώς αυξάνεται η ποσότητα του νερού που ενοποιείται με το πετρέλαιο, τόσο αυξάνεται και η αντίστοιχη πυκνότητα που έχει το γαλάκτωμα προσεγγίζοντας έτσι αυτή του νερού, χωρίς βέβαια να μπορεί να την ξεπεράσει. Η διαδικασία της γαλακτωματοποίησης επιβραδύνει άλλες διαδικασίες που γίνονται για τον μετασχηματισμό του πετρελαίου με αποτέλεσμα να είναι η κύρια αιτία για την παραμονή των πετρελαίων (ελαφριών και μέσων τύπων) στη θάλασσα αλλά και στις ακτές (ITOPF, 2011).

- Φωτοοξειδωση

Οι υδρογονάνθρακες και το οξυγόνο αντιδρούν με την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας. Η φωτοοξειδωση γίνεται όσο υπάρχει η πετρελαιοκηλίδα, αν και δεν επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία μετασχηματισμού του πετρελαίου. Ακόμη και σε συνθήκες με έντονη ηλιακή ακτινοβολία, οι κηλίδες λεπτού πάχους φωτοδιασπώνται με αργούς ρυθμούς που δεν ξεπερνούν το 0,1% ημερησίως. Όταν η φωτοδιάσπαση γίνεται σε συστατικά με μεγάλο ιξώδες δημιουργούνται προϊόντα μεγαλύτερης σταθερότητας, κάτι το οποίο είναι εμφανές σε κομμάτια πίσσας, τα οποία σταδιακά καλύπτονται με μια σταθερή κρούστα οξειδωμένου πετρελαίου (ITOPF, 2011).

- Βύθιση και ιζηματοποίηση

Τα περισσότερα πετρέλαια δεν έχουν μεγάλη πυκνότητα, όπως για παράδειγμα, τα σταγονίδια του πετρελαίου κατά τη διασπορά τους μπορεί να προσροφηθούν σε αιωρούμενα σωμάτια ιζήματος ή οργανικής ύλης και σιγά σιγά να βυθιστούν. Ρηχές θάλασσες και ποταμοί έχουν μεγάλες ποσότητες αιωρούμενης ύλης στο νερό. Ειδικά το βαρύ καύσιμο πετρελαίο και τα γαλακτώματα έχουν πυκνότητες παρόμοιου τύπου με του νερού και καθιζάνουν ευκολότερα. Λίγα είναι τα πετρέλαια που έχουν πυκνότητα πιο μεγάλη από αυτή του νερού της θάλασσάς (1,025 g/cm³) και καθιζάνουν αμέσως μετά την εκροή στη θάλασσα (ITOPF, 2011).

- Μικροβιακή διάσπαση

Οι μικροοργανισμοί ζουν στο νερό από το οποίο λαμβάνουν και το απαραίτητο οξυγόνο καθώς και τα θρεπτικά συστατικά. Η βιοδιάσπαση γίνεται στην επιφάνεια ανάμεσα στο πετρέλαιο και στο νερό. Η διασπορά του πετρελαίου η οποία επιτυγχάνεται είτε φυσικά είτε με τη βοήθεια χημικών σε όλη τη στήλη του νερού μπορεί να αυξήσει τη διαθέσιμη επιφάνεια ανάμεσα στο πετρέλαιο και το νερό, ενισχύοντας έτσι τη βιοδιάσπαση. Αντιθέτως όμως, το πετρέλαιο που βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας διασπάται αργότερα αφού έχει μικρότερη διεπαφή με το νερό. Με τον ίδιο τρόπο, το πετρέλαιο που εκβράζεται στις ακτές σε παχιά στρώματα υπάρχει περίπτωση να παραμείνει ανέπαφο για αρκετά χρόνια (ITOPF, 2011).

- Συνδυασμένες διεργασίες

Από τη στιγμή που θα γίνει η διαρροή πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον ξεκινούν αμέσως όλες οι παραπάνω διεργασίες μετασχηματισμού. Σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές πραγματοποιείται συνδυασμός των παραπάνω.

Κεφάλαιο 2. Πετρελαιοκηλίδες στο θαλάσσιο περιβάλλον

2.1 Δημιουργία πετρελαιοκηλίδων

Πετρελαιοκηλίδα είναι η διαρροή πετρελαίου στην επιφάνεια ενός μεγάλου όγκου νερού (Britanica, 2021). Πρόκειται για ποσότητες πετρελαίου που εξαιτίας ατυχήματος ή ανθρώπινης αμέλειας διαρρέουν και εξαπλώνονται στην επιφάνεια της θάλασσας. Με τον τρόπο αυτό αποτελούν μία από τις σοβαρότερες αιτίες ρύπανσης και καταστροφής της χλωρίδας και της πανίδας στο κομμάτι της έκτασης που καταλαμβάνουν. Διαρροές από δεξαμενόπλοια, φορτηγίδες, αγωγούς, γεωτρήσεις και εγκαταστάσεις αποθήκευσης, είναι υπεύθυνες για τις μεγάλες καταστροφές στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ωστόσο δεν είναι λίγα και τα περιστατικά από σκάφη αναψυχής. Η ΙΤΟΡΦ υπολόγισε ότι μεταξύ 1970 και 2016 χάθηκαν περίπου 5,73 εκατομμύρια τόνοι πετρελαίου ως αποτέλεσμα ατυχημάτων με δεξαμενόπλοια (ΙΤΟΡΦ, 2016) , καθώς μεμονωμένα μεγάλα περιστατικά μπορεί να ευθύνονται για ένα τεράστιο μερίδιο του συνόλου του πετρελαίου που χύθηκε σε ένα δεδομένο έτος (ourworldindata, 2013).

Μια άλλη πηγή διαρροής απαντά στις εξέδρες άντλησης/εξόρυξης πετρελαίου (βλέπε εικόνα 3). Βασικές αιτίες που προκαλούν τέτοιου είδους ατυχήματα είναι τόσο ο ανθρώπινος παράγοντας, όπως προαναφέρθηκε, όσο και οι καιρικές συνθήκες. Οι ακραίες καιρικές συνθήκες μπορεί ακόμη και να βυθίσουν μία θαλάσσια εξέδρα, ενώ σε γενικές γραμμές οι διαρροές αυτές προκύπτουν από μεμονωμένες δράσεις και ατυχήματα κατά τη διάρκεια εξερευνήσεων, εντοπισμού θύλακα αργού πετρελαίου, εκμετάλλευσης κ.ά. Ατύχημα μπορεί να προκληθεί και κατά τη μεταφορά πετρελαίου ή την εκφόρτωση του από το πλοίο στη στεριά, από τη στεριά στο πλοίο και από την εξέδρα σε πλοίο. Για να πραγματοποιηθούν οι εργασίες αυτές απαιτείται η χρήση πλωτών σημαντήρων. Υπάρχει όμως περίπτωση να υπάρξει κάποια επιπλοκή (ή βλάβη) κατά τη διαδικασία σύνδεσης με χερσαίους αγωγούς κάτι το οποίο θα οδηγήσει σε κίνδυνο διαρροής. Από τη Γεωλογική Υπηρεσία ΗΠΑ είναι γνωστό ότι στον κόλπο Μεξικού η διαρροή πετρελαίου εκτιμάται από 71.000.000 – 147.000.000 λίτρα (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2011). Να αναφερθεί επίσης ότι ακόμα και σε μικρές ποσότητες, τέτοιου είδους διαρροές μπορεί να προκαλέσουν μεγάλες καταστροφές (esa, 2022).

Ένας ακόμα κίνδυνος που μπορεί να οδηγήσει σε διαρροή πετρελαίου είναι ο καθαρισμός των δεξαμενών των πλοίων. Πρόκειται για το κατώτατο εσωτερικό μέρος ενός πλοίου. Όταν η διαδικασία αυτή είναι συνεχόμενη και παράνομη, αποτελεί βασική αιτία ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Γιατί στο σημείο αυτό του πλοίου συγκεντρώνονται όλα τα απόβλητα υγρών και καυσίμων και όταν ο καθαρισμός του γίνεται με τρόπο μη ελεγχόμενο τότε δύναται να προκύπτουν οι παραπάνω συνέπειες.

Συμπερασματικά, όποια και να είναι τα αίτια των διαρροών, το αποτέλεσμα είναι ότι καταλήγουν στη θάλασσα και αποτελούν μορφές ρύπανσης του περιβάλλοντος και οι συνέπειες είναι εμφανείς τόσο σε αυτό όσο και στον άνθρωπο, την οικονομία και την κοινωνία γενικότερα.



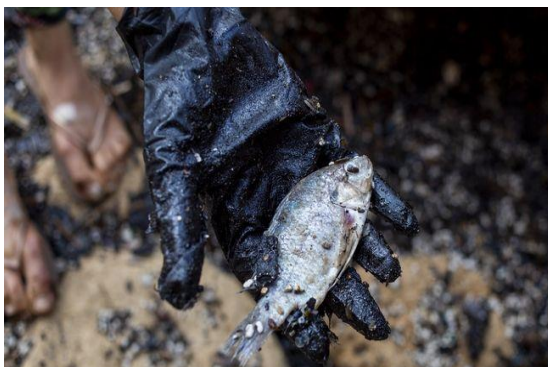
Εικόνα 3: Έκρηξη σε εξέδρα άντλησης πετρελαίου (wordpress,2010)

2.2 Συνέπειες φαινομένου πετρελαιοκηλίδας

2.2.1 Επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον

Όπως είναι γνωστό το θαλάσσιο περιβάλλον παίζει καθοριστικό ρόλο στην οικολογική ισορροπία (Ζαχαρίου, 2009). Ανάλογα με τις περιστάσεις, οι πετρελαιοκηλίδες μπορεί να είναι πολύ επιβλαβείς για το θαλάσσιο περιβάλλον και κυρίως για τα θαλάσσια ζώα που ζουν σε αυτό, θαλάσσια πουλιά, θηλαστικά, θαλάσσιες χελώνες, ψάρια και οστρακοειδή (βλέπε εικόνες 4-7). Τα θαλάσσια αυτά ζώα καταπίνουν ποσότητα πετρελαίου με αποτέλεσμα να δηλητηριάζονται. Επίσης, η αφομοίωση μεγάλης ποσότητας πετρελαίου από τους οργανισμούς αυτούς προκαλεί αλλαγές στην αναπαραγωγική διαδικασία, στην ομαλή ανάπτυξή τους και μπορεί να τα οδηγήσει ακόμα και στο θάνατο. Το ίδιο συμβαίνει και στα εμπορικά είδη, τα οποία κατά συνέπεια μειώνονται πληθυσμιακά ή μολύνονται τόσο πολύ που η κατανάλωση τους από τον άνθρωπο καθίσταται απαγορευτική. Ανάλογα λοιπόν με τη διάρκεια και τον τόπο που μπορεί να εμφανιστεί η διαρροή πετρελαίου, εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες, θαλάσσιοι οργανισμοί μπορεί να τραυματιστούν, να μολυνθούν ή και να σκοτωθούν (Diez, 2007). Για παράδειγμα, κατά την έκρηξη της πλατφόρμας εξόρυξης Deerwater (κόλπος Μεξικού, 2010) πέθαναν 1100 δελφίνια και 1700 θαλάσσιες χελώνες, ενώ στο σύνολο θανατώθηκαν 65.000 θαλάσσια ζώα (Vice, 2015). Αντίστοιχα, στο ατύχημα του Εχσον Valdezko θανατώθηκαν πάνω από 600.000 πουλιά, εκατομμύρια ψάρια, καθώς και άλλα θαλάσσια ζώα (Lifo, 2015).

Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε επίσης και τις συνέπειες στην χλωρίδα της θάλασσας, η οποία εξίσου επιβαρύνεται από διαρροές πετρελαίου. Αυτό συμβαίνει γιατί οι πετρελαιοκηλίδες δεν επιτρέπουν επαρκώς στις ακτίνες του ήλιου να εισέλθουν στο βυθό, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η διαδικασία της φωτοσύνθεσης και η παραγωγή της χλωροφύλλης. Για όλους αυτούς τους λόγους οι επιδράσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον από την εμφάνιση πετρελαιοκηλίδων είναι αρνητικές και καταστροφικές.



Εικόνα 4: Επιπτώσεις σε ψάρια (News247, 2021)



Εικόνα 5: Επιπτώσεις σε όστρακα (crash magazine online, 2019)



Εικόνα 6: Επιπτώσεις σε θαλασσοπούλια (klik, 2017)



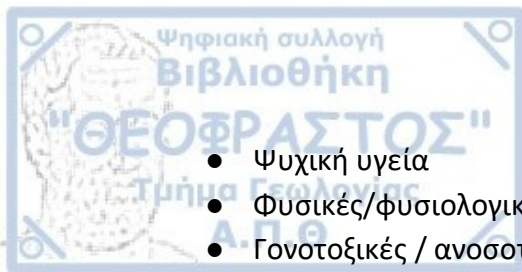
Εικόνα 7: Επιπτώσεις σε θαλασσοπούλια (wikipedia, 2007)

2.2.2 Επιπτώσεις για τους ανθρώπους

Η διαρροή πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον έχει πολύ σοβαρές επιπτώσεις και στην υγεία του ανθρώπου. Από μελέτες που έχουν γίνει είναι γνωστό ότι ο ανθρώπινος οργανισμός επηρεάζεται αρνητικά από την έκθεση του σε κάθε είδους μορφή πετρελαίου. Τα συμπτώματα που μπορεί να προκληθούν στον άνθρωπο είναι αναπνευστικά προβλήματα, ερεθισμοί, νευρολογικές επιδράσεις καθώς και συμπτώματα τραυματισμών (Amazon Frontline, 2022). Η εμφάνιση κάποιου από τα παραπάνω, είναι συνδεδεμένη με την ένταση της έκθεσης. Δηλαδή όσο πιο κοντά βρίσκεται στο σημείο διαρροής ο άνθρωπος και όσο περισσότερη είναι η χρονική διάρκεια έκθεσής του, τόσο σοβαρότερα θα είναι και τα συμπτώματα.

Εκτός από τους κινδύνους που μπορεί να αντιμετωπίσει από την επαφή του με το πετρέλαιο μέσω του περιβάλλοντος ο άνθρωπος, η πρόσληψη των τροφών μπορεί να γίνει εξ ίσου επικίνδυνη. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω από το θαλάσσιο οικοσύστημα αλιεύονται ψάρια και θαλασσινά προς πώληση, για απευθείας τροφική κατανάλωση ή παρασκευή προϊόντων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να λαμβάνει ο άνθρωπος είτε μέσω της τροφής, είτε μέσω άλλων προϊόντων που παρασκευάζονται από τα παραπάνω είδη, ποσότητα πετρελαίου μέσω κατάποσης ή δερματικής επαφής. Έτσι, αν για τον οποιοδήποτε λόγο (ανθρώπινη αμέλεια ή παρανομία) φτάσουν ψάρια και άλλα θαλασσινά που έχουν εκτεθεί σε πετρελαιοκηλίδα, να καταναλώνονται από τον άνθρωπο, είναι αντιληπτές οι βλαβερές επιπτώσεις που θα του προκαλέσουν (Paul, 2021). Ο άνθρωπος επηρεάζεται, όπως είναι φυσικό και από τις κοινωνικό-οικονομικές επιπτώσεις.

Συνολικά, σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε και αφορούσε 9 πετρελαιοκηλίδες, είτε από ατυχήματα που έγιναν σε εξέδρες εξόρυξης πετρελαίου είτε σε δεξαμενόπλοια, εκ των οποίων έξι από αυτές αποτελούνταν από ακατέργαστο πετρέλαιο και οι υπόλοιπες από καύσιμο πετρελαίου (fuel oil no. 6, Bunker C), παρατηρήθηκαν οι ακόλουθες κατηγορίες επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία (Medical Magazine, 2017):



- Ψυχική υγεία
- Φυσικές/φυσιολογικές
- Γονοτοξικές / ανοσοτοξικές/ ενδοκρινικές τοξικές

Με βάση τα αποτελέσματα της αναφερόμενης ανασκόπησης, προκύπτει ότι η έκθεση σε πετρελαιοκηλίδα είναι δυνατόν να επιβαρύνει όλα τα επίπεδα υγείας, με κάποια συμπτώματα να επιμένουν ακόμα και κάποια χρόνια, έπειτα από την έκθεση. Ασθένειες όπως κατάθλιψη, κρίσεις πανικού, διαταραχές άγχους καθώς και επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου και δυσμενείς επιδράσεις όπως ναυτία, πονοκέφαλος, εμετός και ερεθισμός στα μάτια είναι κάποιες από τις επιπτώσεις στην ψυχική και γενικότερα στην υγεία του ανθρώπου.

Από άποψη ανοσοτοξικότητας/γονοτοξικότητας/ενδοκρινικής τοξικότητας, οι έρευνες που έχουν γίνει είναι λίγες και προέρχονται κυρίως από το ναυάγιο του δεξαμενόπλοιου Prestige το 2002 που έλαβε χώρα στη Γαλικία καθώς και από την έκθεση των ψαράδων της συγκεκριμένης περιοχής στην πετρελαιοκηλίδα αυτή. Οι κύριες επιπτώσεις αφορούν ανωμαλίες στη δομή των χρωμοσωμάτων καθώς και μεταβολές στα επίπεδα ορμονών όπως είναι τα λεμφοκύτταρα και οι κυταρροκίνες (Medical Magazine, 2017).

2.2.3 Οικονομικές επιπτώσεις

Η ρύπανση των παράκτιων περιοχών προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις και στην οικονομία. Τέτοιες μπορεί να αφορούν εμπορικές δραστηριότητες, κόστη καθαρισμού και μεγάλες οικονομικές απώλειες στις βιομηχανίες, αλλά και στους κατοίκους των ρυπασμένων περιοχών που εξαρτώνται από τους θαλάσσιους πόρους. Αρκετά εμφανείς οικονομικές επιπτώσεις παρουσιάζονται κυρίως στους τομείς τουρισμού και αλιείας, υπάρχουν όμως και πολλές άλλες επιχειρηματικές δραστηριότητες που ενδέχεται να υποστούν απώλειες κερδών (ITOPF, 2021).

Οι ρυπασμένες με πετρέλαιο ακτές δεν επιτρέπουν την πραγματοποίηση ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων, όπως είναι η κολύμβηση, το ψάρεμα, οι καταδύσεις και άλλα θαλάσσια σπορ με αποτέλεσμα βραχυπρόθεσμα (μέχρι να γίνουν οι κατάλληλοι καθαρισμοί) να υπάρχουν οικονομικές απώλειες (ITOPF, 2021). Ωστόσο, πιο μακροπρόθεσμες και επιζήμιες οικονομικές επιπτώσεις μπορεί να προκύψουν όταν η κοινή αντίληψη για παρατεταμένη και ευρείας κλίμακας ρύπανση παραμένει πολύ καιρό και μετά την εξάλειψη του πετρελαίου. Υπό αυτές τις συνθήκες, απαιτείται ακόμη μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για να επανέλθουν οι επιχειρηματικές δραστηριότητες σε κανονικό επίπεδο, μερικές φορές και με εκτεταμένες συνέπειες. Για παράδειγμα, οι παραθεριστές μπορεί να αποφασίσουν να κάνουν κράτηση για τις διακοπές τους σε άλλες περιοχές, οπότε τα ξενοδοχεία, οι ταξιδιωτικοί πράκτορες και ενδεχομένως οι προμηθευτές τους ενδέχεται να

υποστούν ζημιές. Αυτό μπορεί επίσης να επηρεάσει εταιρείες μεταφορών, εθνικά πάρκα και άλλες τοπικές επιχειρήσεις που εξαρτώνται από τον τουρισμό. Οι πιο ευάλωτες επιχειρήσεις θα είναι αυτές που δεν έχουν εναλλακτικές πηγές εισοδήματος. Όπως για παράδειγμα, ένα πολυτελές θέρετρο μπορεί να μην δύναται να συνεχίσει να λειτουργεί καθώς εξαρτάται από τους τουρίστες για το σύνολο του εισοδήματός του. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να υπάρξει προσωπικό ανταπόκρισης στην πετρελαιοκηλίδα στην περιοχή για πολλούς μήνες και οι απώλειες που προκαλούνται από την απουσία τουριστών μπορεί επομένως να είναι αμελητέες για αυτές τις επιχειρήσεις.

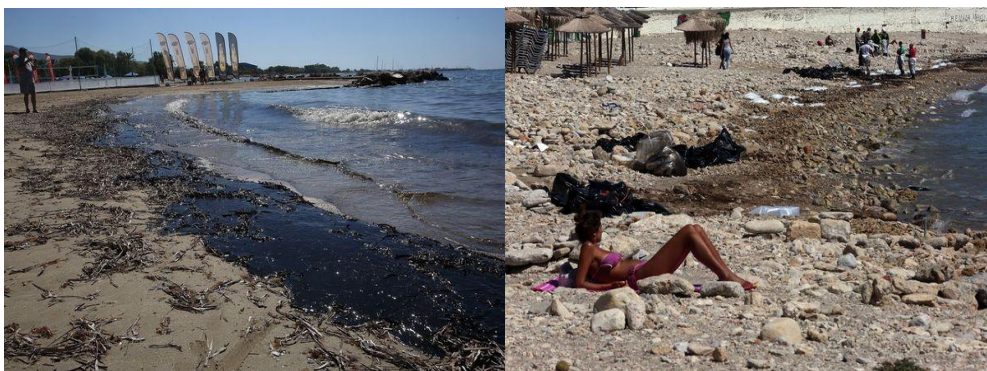
Οι πετρελαιοκηλίδες μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή ζημιά στην αλιεία και τους θαλάσσιους πόρους (ITOPF, 2021). Η φυσική ρύπανση μπορεί να επηρεάσει τα αποθέματα και να διαταράξει τις επιχειρηματικές δραστηριότητες, ρυπαίνοντας τα αλιευτικά εργαλεία ή εμποδίζοντας την πρόσβαση σε αλιευτικές τοποθεσίες. Ο βαθμός στον οποίο οι οικονομικές επιπτώσεις θα γίνουν αισθητές από τον τομέα της αλιείας μετά από μια πετρελαιοκηλίδα, θα εξαρτηθεί από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι είναι τα χαρακτηριστικά του πετρελαίου, οι συνθήκες του συμβάντος και το είδος της αλιευτικής δραστηριότητας ή επιχείρησης που επηρεάζεται (Speight, James & El-Gendy, 2017). Τα φυσικά (περιβαλλοντικά) χαρακτηριστικά του θαλάσσιου περιβάλλοντος και των ακτών παίζουν επίσης ρόλο στον καθορισμό του εύρους και της έκτασης των οικονομικών επιπτώσεων. Επίσης, ο βαθμός στον οποίο χάνεται η εμπιστοσύνη της αγοράς στην ποιότητα των θαλασσινών από την πληγείσα περιοχή, είναι σημαντικός παράγοντας.

Μία ακόμη οικονομική επίπτωση από το φαινόμενο της πετρελαιοκηλίδας δέχονται οι σταθμοί ηλεκτρικής ενέργειας. Οι τεχνολογίες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αναπτύσσονται και αναβαθμίζονται συνεχώς, ως αποτέλεσμα να υπάρχει ένα φάσμα δεκάδων διαφορετικών ειδών Σταθμών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας. Οι κυριότερες από αυτές τις τεχνολογίες είναι οι Θερμικοί Σταθμοί, οι Σταθμοί Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί. Οι τελευταίοι η ενέργεια που παράγουν αποδίδεται από την δυναμική ενέργεια του νερού η οποία μετατρέπεται σε κινητική μέσω υδατόπτωσης. Συνεπώς, αν το νερό που χρησιμοποιεί ο Υδροηλεκτρικός Σταθμός ρυπανθεί από πετρελαιοκηλίδα, είναι φυσικό επόμενο να υπάρξει καταστροφή του Σταθμού και ως συνέπεια μια οικονομική ζημία για το κράτος ή τον ιδιώτη επενδυτή.

2.2.4 Κοινωνικές επιπτώσεις

Εκτός από οικονομικές, υπάρχουν και επιπτώσεις που αφορούν κυρίως την κοινωνική ευθύνη. Κάθε κοινωνία πρέπει να φροντίζει για την ασφάλεια τόσο του τόπου, όσο και των ανθρώπων που την αποτελούν. Ως προς τον τόπο είναι σημαντικό να διατηρηθεί η πολιτιστική του κληρονομιά. Να μπορούν να διαχειρίζονται τέτοιου είδους διαρροές με τρόπο τέτοιο, που να αποφεύγονται οι αρνητικές προς το πολιτιστικό περιβάλλον επιπτώσεις. Επιπλέον, η κοινωνία είναι υπεύθυνη για την προστασία όσων εργάζονται σε θαλάσσιες δραστηριότητες ή κοντά σε αυτές, καθώς και για τη βιωσιμότητα των επιχειρήσεων που εμπλέκονται με κάθε τρόπο σε ότι σχετίζεται με το θαλάσσιο περιβάλλον. Οι κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις στην πραγματικότητα συνδυάζονται, με την έννοια ότι οι κοινωνικές επηρεάζουν τις περισσότερες φορές την οικονομία. Για παράδειγμα, οι κοινωνικές επιπτώσεις στις βιομηχανίες του τουρισμού (εικόνα 8) και της φιλοξενίας προκαλούν μείωση των θέσεων εργασίας, των εσόδων και κατά συνέπεια την φτώχεια.

Μία ακόμη κοινωνική αλλά και ταυτόχρονα οικονομική επίπτωση που προκαλεί το πετρέλαιο στη θάλασσα είναι στις μονάδες αφαλάτωσης, οι οποίες λειτουργούν σε πολλές τουριστικές περιοχές κυρίως σε αυτές που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα. Για το λόγο αυτό κύριο μέλημα είναι η θάλασσα από την οποία παίρνουν το νερό πρέπει να είναι καθαρή.



Εικόνα 8: Εικόνες συνεπειών πετρελαιοκηλίδας σε κοινωνικοοικονομικό επίπεδο- Τουρισμός (Ενικός, 2017)

2.3 Αναφορά σε περιστατικά δημιουργίας πετρελαιοκηλίδας που πήραν μεγάλη έκταση

Πριν από δεκαετίες, τα ατυχήματα πετρελαιοφόρων κυριαρχούσαν στην εικόνα των πετρελαιοκηλίδων στα μέσα ενημέρωσης και αποτελούσαν σημαντικό μέρος της ανθρώπινης ρύπανσης πετρελαίου στη θάλασσα. Από τη δεκαετία του 1970 ο αριθμός τέτοιου είδους ατυχημάτων έχει μειωθεί αρκετά και ακόμη περισσότερο έχει μειωθεί η ποσότητα του πετρελαίου που εκρέει. Όσον αφορά τις εκρήξεις σε πλατφόρμες πετρελαίου, είναι πιο δύσκολο να βρεθεί μια σαφής τάση. Παρακάτω θα γίνει αναφορά στις μεγαλύτερες διαρροές πετρελαίου παγκοσμίως, με το Deerwater Horizon να βρίσκεται στην υψηλότερη θέση, που παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Οι μεγαλύτερες διαρροές πετρελαίου παγκοσμίως

Περιστατικά	Έτος	Χώρα	Ποσότητα διαρροής (tn)
Ixtoc I	1979	Μεξικό	475.000
Nowruz	1983	Ιράν	100.000
Nowruz	1983	Ιράν	40.000
Ecofisk	1977	Νορβηγία	27.000
Funiwa 5	1980	Νιγηρία	26.000
Montara	2009	Αυστραλία	20.000

(Πηγή: Ambio, 2010)

2.3.1 Ixtoc I



Εικόνα 1: Ixtoc I oil spill
(Wikipedia, 1979)

Ο νοτιοδυτικός Κόλπος του Μεξικού αποτελεί σημαντικό τμήμα σε ένα μεγάλο Θαλάσσιο Οικοσύστημα. Λόγω της υψηλής βιοποικιλότητας, των έμβιων πόρων και των ενεργειακών πόρων, αυτή η περιοχή αποτελεί σημείο αναφοράς στα εθνικά σχέδια της κοινωνικής και οικονομικής ανάπτυξης του Μεξικού (whoι, 2014). Η ανακάλυψη αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων στον βυθό του Campeche Sound τη δεκαετία του 1970 προώθησε την ταχεία επέκταση της εθνικής βιομηχανίας πετρελαίου στα υπεράκτια ύδατα. Δυστυχώς, η έκρηξη του πιο παραγωγικού πηγαδιού (Ixtoc-I) τον Ιούνιο του 1979, προκάλεσε την πρώτη

παγκόσμια τεράστια πετρελαιοκηλίδα σε ένα τροπικό θαλάσσιο περιβάλλον (βλέπε εικόνα 9). Περισσότερα από 3,4 εκατομμύρια βαρέλια αργού πετρελαίου απελευθερώθηκαν σε ένα οικοσύστημα το οποίο ήταν παλαιότερα γνωστό για τις παρθένες συνθήκες του. Στον απόηχο αυτού του τρομερού ατυχήματος, προέκυψε μια αυξανόμενη ανησυχία, όχι μόνο για τις οξείες επιπτώσεις του πετρελαίου αλλά και για τις μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές συνέπειες που προέρχονται από τις υπολειμματικές ενώσεις υδρογονανθράκων που συσσωρεύονται σε παράκτια περιβάλλοντα του νότιου Κόλπου του Μεξικού. Οι προσπάθειες εκτίμησης του μεγέθους της περιβαλλοντικής ζημίας, περιορίστηκαν αρκετά λόγω έλλειψης πληροφοριών πριν από τη διαρροή. Η φυσική μεταβλητότητα στο οικοσύστημα και οι καιρικοί παράγοντες, συνέβαλαν στην άμβλυνση των οξέων επιπτώσεων της ρύπανσης που διήρκεσαν σχεδόν 9 μήνες (Soto, 2014).

2.3.2 Nowruz



Εικόνα 2: Nowruz Field, (klik, 2017)

Στις 24 Ιανουαρίου 1983, ένα πλοίο ανεφοδιασμού συγκρούστηκε με μια εξέδρα στο ιρανικό κοίτασμα πετρελαίου Nowruz (βλέπε εικόνα 10). Αυτό το περιστατικό προκάλεσε ρήξη του ανυψωτικού στο πηγάδι No. 3, με αποτέλεσμα τη διαρροή αργού πετρελαίου με εκτιμώμενο ρυθμό 240 κυβικά μέτρα την ημέρα. Η αντιμετώπιση της διαρροής αποδείχθηκε δύσκολη καθώς το κοίτασμα πετρελαίου Nowruz βρισκόταν στην εμπόλεμη ζώνη Ιράν/Ιράκ. Μετά από πολλές προσπάθειες, το πηγάδι No. 3 κλείστηκε στις 18 Σεπτεμβρίου 1983. Έντεκα άτομα σκοτώθηκαν κατά την έκρηξη. Στη συνέχεια το πηγάδι κλείστηκε με τσιμέντο (Cedre, 2010).

Μια άλλη διαρροή σημειώθηκε στο ίδιο οικόπεδο τον Απρίλιο του 1983. Ένα κοντινό γεωτρήπανο δέχτηκε επίθεση από ιρακινά βομβαρδιστικά το οποίο καιγόταν για δύο χρόνια. Αρχικά, 795 κυβικά πετρελαίου την ημέρα χύνονταν στη θάλασσα, αλλά με το πέρασμα του χρόνου ο ρυθμός επιβραδύνθηκε. Μόλις τον Μάρτιο του 1985 το πηγάδι No. 4 καλύφθηκε. Η φωτιά σβήστηκε και το πηγάδι αποφράχθηκε με τη συνδρομή δυτών. Σε αυτές τις διαρροές έχασαν τη ζωή τους εννέα άνδρες (Cedre, 2010).

2.3.3 Ecofisk



Εικόνα 3: Bravo blowout (aftenbladet, 2012)

Στις 22 Απριλίου 1977, στο πηγάδι No. B-14 στην πλατφόρμα παραγωγής «Bravo» της Phillips Petroleum Company στο νορβηγικό κοίτασμα Ekofisk, παρουσιάστηκε έκρηξη πετρελαίου και φυσικού αερίου (Robin, 2011), (βλέπε εικόνα 11). Αυτή η πλατφόρμα βρίσκεται 180 μίλια νοτιοδυτικά του πεδίου του πετρελαίου Ekofisk σε περίπου 230 πόδια νερού βάθος. Η έκρηξη είχε ως αποτέλεσμα την πρώτη μεγάλη διαρροή πετρελαίου στη Βόρεια Θάλασσα. Ένα κόκκινο-καφέ μείγμα που αποτελείται από πετρέλαιο και λάσπη εκτοξεύτηκε έως και 180 πόδια στον αέρα πάνω από το υπεράκτιο γεωτρύπανο.

Το «προστατευτικό εκρήξεων» είχε προφανώς τοποθετηθεί ανάποδα στην κεφαλή του φρεατίου κατά τη διάρκεια προηγούμενης διαδικασίας συντήρησης. Τα 112 μέλη του πληρώματος στην πλατφόρμα απομακρύνθηκαν με ασφάλεια. Η έκρηξη είχε ως αποτέλεσμα μια συνεχή διαρροή αργού πετρελαίου μέσω ανοιχτού σωλήνα 20 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας με εκτιμώμενο ρυθμό 1170 βαρελιών την ώρα. Περίπου 202.380 βαρέλια πετρελαίου διέφυγαν πριν κλείσει οριστικά το πηγάδι 7 ημέρες αργότερα, στις 30 Απριλίου. Μια υψηλότερη από τη μέση θερμοκρασία αέρα και ο σχηματισμός μικρών σταγονιδίων πετρελαίου συνέβαλαν στον γρήγορο ρυθμό εξάτμισης. Παρόλο που οι καιρικές συνθήκες και οι συσσωρεύσεις επικίνδυνων αερίων επιβράδυναν τις προσπάθειες κάλυψης, η κατάσταση περιορίστηκε στις 30 Απριλίου. Το Νορβηγικό Κρατικό Συμβούλιο Ελέγχου Ρύπανσης δήλωσε ότι δεν προκλήθηκε σημαντική οικολογική ζημιά από τη διαρροή (Robin, 2011).

2.3.4 Funiwa 5



Εικόνα 4: Επιπτώσεις από το ατύχημα στο Funiwa No. 5 (Το Βήμα, 2011)

Στις 17 Ιανουαρίου 1980, το πηγάδι Funiwa No. 5 που βρίσκεται 5 μίλια από το Δέλτα του Νίγηρα, στη Νιγηρία, εξερράγη. Περίπου 200.000 βαρέλια πετρελαίου χύθηκαν από το πηγάδι. Στις 29 Ιανουαρίου έγινε η έκρηξη πετρελαίου προκαλώντας αρνητικές επιπτώσεις (βλέπε εικόνα 12). Η ροή του σταμάτησε την 1η Φεβρουαρίου καθώς το Funiwa No. 5 γεφυρώθηκε (Incident News, 2017).

2.3.5 Montara



Εικόνα 5: Το ατύχημα στην πλατφόρμα Montara (Gscaptain, 2009)

Στις 21 Αυγούστου 2009 το γεωτρύπανο της πλατφόρμας γεώτρησης Montara που ανήκει στην ΡΤΤΕΡ Australasia υπέστη ατύχημα στην κεφαλή του φρεατίου, με αποτέλεσμα την ανεξέλεγκτη διαρροή πετρελαίου και φυσικού αερίου. Η διαρροή πετρελαίου και φυσικού αερίου σταμάτησε στις 3 Νοεμβρίου 2009 (βλέπε εικόνα 13). Η Αυστραλιανή Αρχή Ναυτικής Ασφάλειας συντόνισε την αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης διαρροής σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο της

Αυστραλίας για την καταπολέμηση της ρύπανσης της θάλασσας από πετρέλαιο και άλλες επιβλαβείς και επικίνδυνες ουσίες. Το Τμήμα Περιβάλλοντος και Ενέργειας συμμετείχε στην ανταπόκριση μέσω ενός Σχεδίου Δράσης για την Άγρια Ζωή και με την ανάληψη του ρόλου του Περιβαλλοντικού και Επιστημονικού Συντονιστή στο πλαίσιο του εθνικού σχεδίου (Spies, 2009).

Τα περιστατικά αυτά είναι από τα μεγαλύτερα που έχουν γίνει παγκοσμίως και επομένως δεν είναι τα μόνα. Αξίζει να αναφερθεί ότι δεν είναι λίγα και αυτά που έχουν συμβεί στην Ευρώπη γενικότερα αλλά και στην Ελλάδα ειδικότερα, μιας και πρόκειται για μια χώρα που μεγάλο μέρος της αποτελείται από θάλασσα.

2.4. Αναφορά σε περιστατικά δημιουργίας πετρελαιοκηλίδας που έλαβαν χώρα στην Ελλάδα.

Τα μεγαλύτερα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδας που συνέβησαν στην Ελλάδα παρουσιάζονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2: Τα μεγαλύτερα ατυχήματα πετρελαιοκηλίδων την Ελλάδα

Όνομα πλοίου	Χρονολογία	Τοποθεσία	Ποσότητα διαρροής σε τόνους
Trader	1972	Βόρειο Αιγαίο	36.500
Μεσσηνιακή Φροντίς	1979	Καλοί Λιμένες Κρήτης	12.000
Irenes Serenade	1980	Πύλος	40.000
Rabigh Bay II	1987	Ασπρόπυργος	500-1.000
Jupiter και Adige	1988	Πειραιάς	500-1.000
Geori Chernomorya	1992	Κεντρικό Αιγαίο	1.700
Iliad	1993	Πύλος	800
La Guardia	1994	Κόλπος Ελευσίνας	400-800
Kriti Sea	1996	Άγιοι Θεόδωροι Κορινθίας	300-500
Eurobulker X	2000	Λευκάντι Ευβοίας	300

Πηγή: Greenpeace, 2007

Κεφάλαιο 3. Επικινδυνότητα ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδας σε οικονομικό επίπεδο

3.1 Τρόποι εκτίμησης επικινδυνότητας πετρελαιοκηλίδων

Αρχικά θα ορισθεί τι σημαίνει ο όρος «επικινδυνότητα». Ένας ορισμός είναι «η πιθανότητα εμφάνισης ενός δυσμενούς γεγονότος, απειλής ή ζημιάς και του αντίκτυπου που θα έχει όταν εμφανιστεί» (Kontonas, 2010). Δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί κάθε πτυχή ενός κινδύνου ή να ορισθούν όλες οι συνέπειες για κάθε μέτρο αντιμετώπισης. Αναλύοντας την επικινδυνότητα εξασφαλίζεται ένας συστηματικός τρόπος ώστε να αξιολογηθούν καλύτερα οι κίνδυνοι, επιτυγχάνεται διαφάνεια πολυπλοκότητας και εξετάζονται οι αβεβαιότητες ή τα κενά γνώσης, διευκολύνοντας έτσι τη λήψη αποφάσεων για την αντιμετώπιση μιας κατάστασης εκτάκτου ανάγκης και αποτελείται από δύο φάσεις (Etkin, 2006):

- Την εκτίμηση της επικινδυνότητας (risk assessment)
- Τη διαχείρισή της επικινδυνότητας (risk management).

Αναφέρεται δηλαδή στις ενέργειες οι οποίες προλαμβάνουν ένα πιθανό ατύχημα και αναγνωρίζουν τον κίνδυνο (hazard identification) και την αξιολόγησή του όσο αναφορά τις επιπτώσεις που θα προκαλέσει στο φυσικό αλλά και ανθρώπινο περιβάλλον (vulnerability analysis). Η διαχείριση εστιάζει στις ενέργειες που ακολουθούν σε συνθήκες ενός πραγματικού ατυχήματος, όπως στη λήψη αποφάσεων για το πως θα αντιμετωπιστεί το ατύχημα και την επαναφορά του περιβάλλοντος στην αρχική ή και σε ακόμα πιο βελτιωμένη κατάσταση (response and recovery actions). Οι δύο αυτές φάσεις είναι αλληλένδετες, αφού η οδηγεί σε αναθεώρηση της άλλης. Η εκτίμηση επομένως του κινδύνου περιβάλλοντος, ορίζεται εκτιμώντας την πιθανότητα μιας ανθρώπινης δραστηριότητας η οποία θα μπορούσε να προκαλέσει τη διάχυση πετρελαίου στη θάλασσα με αποτέλεσμα να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον (Etkin, 2006).

Η ορθή εταιρική πρακτική και οι κανονιστικές απαιτήσεις δημιουργούν την ανάγκη να χαρτογραφηθούν οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι από πιθανές πετρελαιοκηλίδες και να εντοπιστούν επιλογές ετοιμότητας και αντίδρασης. Η διαδικασία εκτίμησης κινδύνου πετρελαιοκηλίδων βοηθάει στην επίτευξη βέλτιστων λύσεων ετοιμότητας και αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδων, συμπεριλαμβανομένων σχεδίων που διασφαλίζουν μειωμένες περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Εταιρείες παροχής υπηρεσιών διάφορων κλάδων (συμπεριλαμβανομένων των ναυτιλιακών και πετρελαίου) μπορούν να αξιολογήσουν και να εντοπίσουν σχετικά μέτρα μείωσης του κινδύνου, να διασφαλίσουν ότι η τεκμηρίωση είναι σύμφωνη με τους κυβερνητικούς κανονισμούς και να βοηθήσουν στην εφαρμογή λύσεων ετοιμότητας για πετρελαιοκηλίδες. Πραγματοποιούν ποσοτικές αξιολογήσεις

κινδύνου πετρελαιοκηλίδας χρησιμοποιώντας εργαλεία μοντελοποίησης πετρελαιοκηλίδων τελευταίας τεχνολογίας σε συνδυασμό με ενημερωμένα δεδομένα κατανομής και ευαισθησίας οικοτόπων. Η μοντελοποίηση διαρροής μπορεί να προηγείται από μελέτες εκρήξεων, καθώς και συγκεκριμένες αξιολογήσεις που βασίζονται στις συνθήκες δεξαμενών, ανάλυση συγκριτικής αξιολόγησης, στατιστικά μοντέλα και προσομοιώσεις. Για την αξιολόγηση κινδύνου πετρελαιοκηλίδων χρησιμοποιούνται διεθνώς αναγνωρισμένα εργαλεία σύμφωνα με τα πρότυπα που καθορίζονται από τους φορείς εκμετάλλευσης, τους εργολάβους αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδων και τις αρχές.

Το πρώτο βήμα της αξιολόγησης κινδύνου είναι η ποσοτικοποίηση της πιθανότητας εμφάνισης ενός συμβάντος διαρροής, με βάση τις πληροφορίες σχετικά με ιστορικά αρχεία διαρροής, την κυκλοφορία των πλοίων και τις πηγές ρύπανσης πετρελαίου. Γενικά, υπάρχει υψηλός κίνδυνος όπου υπάρχει μεγάλη κίνηση πλοίων, όπου διασταυρώνονται έντονα οι διαδρομές κυκλοφορίας και όπου το παράκτιο έδαφος είναι πολύπλοκο λόγω της υψηλής συχνότητας ατυχημάτων ρύπανσης (BRISK, 2012). Η διαδρομή του σκάφους και ο όγκος της κυκλοφορίας μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τις κοινωνικοοικονομικές και πολιτικές συνθήκες, οι οποίες μπορεί επίσης να αλλάξουν τον κίνδυνο θαλάσσιας ρύπανσης ανά περιοχή. Για την πρόβλεψη αυτών των αλλαγών, πρέπει να προβλέψουμε το ποσοστό και την κλίμακα των ατυχημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τη μελλοντική διαδρομή του σκάφους και τον όγκο της κυκλοφορίας και να αξιολογήσουμε τον πιθανό κίνδυνο ρύπανσης από πετρέλαιο ανά περιοχή. Ειδικότερα, είναι απαραίτητο να προβλεφθεί ο κίνδυνος με την κατασκευή ενός μελλοντικού ναυτιλιακού σεναρίου σε μια περιοχή όπου αναμένεται σημαντική αλλαγή στη λειτουργία του πλοίου, όπως το άνοιγμα της οδού της Αρκτικής λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Η ανάλυση τρωτότητας είναι ένας δείκτης των πιθανών επιπτώσεων των ρύπων στο περιβάλλον, την οικολογία και τους κοινωνικοοικονομικούς πόρους και αξιολογείται λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία των ευαίσθητων πόρων, της τοποθεσίας και της εποχικότητας, καθώς και της έκθεσης, της ευαισθησίας και της ανάκτησης από το πετρέλαιο που έχει διαρρεύσει. Η ευπάθεια εκτιμάται ότι είναι μεγαλύτερη καθώς η έκθεση σε πετρελαιοκηλίδα είναι μεγαλύτερη, η ευαισθησία του πόρου είναι υψηλότερη και ο ρυθμός ανάκτησης του πόρου από την επίδραση του χυμένου πετρελαίου είναι πιο αργός. Στην περίπτωση της Βαλτικής Θάλασσας και του Αρκτικού Ωκεανού, η ευπάθεια αξιολογήθηκε σε μεγάλο βαθμό σε περιοχές χαμηλής στάθμης υδάτων, αρχιπέλαγος και παράκτιες περιοχές και όχι σε διαδρομές με υψηλή πυκνότητα κυκλοφορίας πλοίων. Αυτό δείχνει ότι, οι παράκτιες περιοχές με πιο ευαίσθητους περιβαλλοντικούς, οικολογικούς και κοινωνικοοικονομικούς πόρους, είναι πιο ευάλωτες στη ρύπανση από πετρέλαιο. Επιπλέον, οι εποχιακές αλλαγές στην ευπάθεια πρέπει να παρακολουθούνται επειδή η ευπάθεια είναι σχετικά υψηλή την άνοιξη και το καλοκαίρι σε σύγκριση με το χειμώνα και το φθινόπωρο (BRISK, 2012).

Το τελικό βήμα της αξιολόγησης κινδύνου είναι ο προσδιορισμός των πιθανών επιπτώσεων των περιστατικών διαρροής συνδυάζοντας την πιθανότητα διαρροής (το αποτέλεσμα της ανάλυσης πιθανοτήτων), την ευπάθεια (το αποτέλεσμα της ανάλυσης τρωτότητας) και τη δημιουργία χάρτη ζημιών. Αυτά τα αποτελέσματα αξιολόγησης κινδύνου μπορούν να παρέχουν διαισθητικές και αντικειμενικές πληροφορίες για τη διαχείριση προτεραιότητας και σε βάθος μελέτη της περιοχής κινδύνου. Επομένως είναι χρήσιμα για την ετοιμότητα και την αντιμετώπιση ατυχημάτων θαλάσσιας ρύπανσης. Συγκεκριμένα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη στρατηγικών ετοιμότητας και αντιμετώπισης της ρύπανσης από πετρέλαιο, μέσω σεναρίων που βασίζονται στην πιθανότητα ρύπανσης από πετρέλαιο, την απόρριψη πετρελαίου και τη μέθοδο πρόληψης. Απαιτούνται πολλοί πόροι και δεδομένα για τη διεξαγωγή πλήρους φάσματος αξιολόγησης κινδύνου που αποτελείται, όπως αναφέρθηκε από ανάλυση πιθανότητας, ευπάθειας και επιπτώσεων.

3.2 Κόστη που προκύπτουν από τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδων

Η ζημιά που προκαλείται από τις πετρελαιοκηλίδες μπορεί να κατηγοριοποιηθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, αλλά η «Ταξινόμηση του κόστους διαρροής πετρελαίου» περιγράφει τα τυπικά στοιχεία που συνυπολογίζονται στο τελικό κόστος. Αυτά περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- 1) Καθαρισμός
- 2) Περιορισμός
- 3) Εκτίμηση και αποκατάσταση ζημιών φυσικών πόρων
- 4) Καταστροφή ιδιοκτησίας
- 5) Δίκη
- 6) Μετρίαση
- 7) Πρόστιμα και ποινές
- 8) Δημόσιες σχέσεις

Σύμφωνα με τους Liu και Wirtz (2006), μπορούν γενικά να προσδιοριστούν πέντε διαφορετικές κατηγορίες κόστους, οι οποίες χωρίζονται σε τρεις ομάδες:

- 1) Καθαρισμός (απομάκρυνση, έρευνα και άλλα έξοδα)
- 2) Κοινωνικοοικονομικές απώλειες
- 3) Περιβαλλοντικό κόστος.

Προσθέτοντας αυτές τις τρεις κατηγορίες κόστους, προκύπτει το συνολικό κόστος μιας πετρελαιοκηλίδας. Πέρα από κάθε αμφιβολία, το κόστος μιας πετρελαιοκηλίδας είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί. Όταν διαρρεύσει στη θάλασσα, το πετρέλαιο συνήθως διασπάται και διαχέεται ή διασκορπίζεται στο θαλάσσιο περιβάλλον ως αποτέλεσμα μιας σειράς διεργασιών που αλλάζουν τις ενώσεις του πετρελαίου. Υπάρχει επίσης μια γενική συμφωνία (Etkin, 1999, Grey, 1999, White and Molloy,

2003) ότι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος των πετρελαιοκηλίδων, περιλαμβάνουν τον τύπο του πετρελαίου, τη θέση της διαρροής, την ποσότητα του πετρελαίου που χύθηκε και τον ρυθμό διαρροής, καιρικές και θαλάσσιες συνθήκες τη στιγμή της διαρροής. Το συνολικό κόστος μιας πετρελαιοκηλίδας μπορεί να εξαχθεί χρησιμοποιώντας τουλάχιστον τέσσερις διαφορετικές μεθόδους (βλ. Kontonas και Psaraftis, 2008). Αυτές είναι οι παρακάτω:

- 1) Πρόσθεση όλων των σχετικών συνιστωσών του κόστους (καθαρισμός, κοινωνικό - οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος).
- 2) Εκτίμηση του κόστους καθαρισμού μέσω μοντελοποίησης και στη συνέχεια υπόθεση μιας αναλογίας σύγκρισης μεταξύ περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών δικαστικών εξόδων.
- 3) Χρήση μοντέλου που υπολογίζει το συνολικό κόστος (π.χ. BOSCEM), υποθέτοντας ότι το συνολικό κόστος μιας πετρελαιοκηλίδας μπορεί να προσεγγιστεί από την αποζημίωση που τελικά καταβλήθηκε στους ενάγοντες.
- 4) Υπόθεση ότι το συνολικό κόστος μιας πετρελαιοκηλίδας μπορεί να προσεγγιστεί με την αποζημίωση που τελικά καταβάλλεται στους ενάγοντες.

Ως παραδείγματα μπορούν να αξιοποιηθούν οι πληροφορίες αποζημίωσης αναφέρονται από το Διεθνές Ταμείο Αποζημίωσης Ρύπανσης Πετρελαίου (IOPCF), το οποίο εκδίδει Ετήσιες Αναφορές.

3.3 Τρόποι εκτίμησης συνολικού κόστους πετρελαιοκηλίδας

Μία από τις πρώτες μελέτες για το κόστος πετρελαιοκηλίδων πραγματοποιήθηκε από τον Cohen (1986). Με βάση τα δεδομένα που κατείχε η U.S. Coast Guard-USCG (σχετικά με 95 ατυχήματα μεταξύ 1973 και 1981) πρότεινε τη χρήση ενός μοντέλου για το κόστος ανάκτησης του πετρελαίου, σε σχέση με τον όγκο που διέρρευσε και τη θέση της πετρελαιοκηλίδας. Αργότερα, η Etkin (1999) επινόησε μια μέθοδο για την εκτίμηση του κόστους καθαρισμού (ανά τόνο ανακτώμενου πετρελαίου) με βάση την τοποθεσία, τον τύπο του πετρελαίου που διέρρευσε τη στρατηγική καθαρισμού και την ποσότητα που διέρρευσε. Εξέλιξε περαιτέρω το μοντέλο προσθέτοντας δύο ακόμη μεταβλητές: τον συγκεκριμένο τύπο τοποθεσίας (συμπεριλαμβάνοντας τρεις τύπους τοποθεσίας διαρροών: υπεράκτιες, παράκτιες και λιμενικές διαρροές) και την τοποθεσία της χώρας. Αυτό το νέο μοντέλο της Etkin (2000) βασίστηκε σε μια σειρά από διαρροές που συνέβησαν παγκοσμίως ενώ τα προηγούμενα μοντέλα της βασιζόνταν μόνο σε διαρροές στις ΗΠΑ. Η πρακτική έδειξε ότι το μέσο κόστος μπορεί να ποικίλλει κατά τουλάχιστον μία τάξη μεγέθους (Etkin, 2001). Η Etkin έχει επίσης αναπτύξει μια αξιόπιστη μέθοδο που μπορεί να εκτιμήσει το συνολικό κόστος μιας πετρελαιοκηλίδας, η οποία είναι γνωστή ως BOSCEM (Basic Oil Spill Cost Estimation Model - Βασικό Μοντέλο Εκτίμησης Κόστους Πετρελαιοκηλίδας). Αυτό αναπτύχθηκε από την Etkin για την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (U.S. Environmental Protection Agency-USEPA) και παρέχει μια μεθοδολογία για την

εκτίμηση του κόστους πετρελαιοκηλίδων, συμπεριλαμβανομένων του κόστους απόκρισης και των περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών ζημιών για πραγματικές ή υποθετικές διαρροές. Το EPA BOSCEM αναπτύχθηκε ως προσαρμοσμένη τροποποίηση σε ένα αποκλειστικό πρόγραμμα μοντελοποίησης κόστους, το ERC BOSCEM, που δημιουργήθηκε από εκτενείς αναλύσεις απόκρισης πετρελαιοκηλίδων, κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών δεδομένων κόστους ζημιών από ιστορικές περιπτώσεις πετρελαιοκηλίδων και αναλύσεις τροχιάς πετρελαιοκηλίδας και επιπτώσεων (Etkin, 2004).

Οι Shahriari και Frost (2008) έχουν αναπτύξει μια μαθηματική μέθοδο για την εκτίμηση του κόστους καθαρισμού χρησιμοποιώντας ανάλυση παλινδρόμησης 80 περιστατικών κατά την περίοδο 1967-2002. Οι παράμετροι του μοντέλου είναι η ποσότητα διαρροής, η πυκνότητα του πετρελαίου, η απόσταση από την ακτή, η νεφελότητα (χρησιμοποιείται ως μέτρο του πόσο ηλιακό φως φθάνει στο πετρέλαιο που είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την εξάτμιση) και το επίπεδο ετοιμότητας με βάση τις εκτιμήσεις ΙΤΟΡΦ σχετικά με το πόσο καλά αντιμετωπίζονται οι πετρελαιοκηλίδες στις διαφορετικές περιοχές του κόσμου. Τέλος, οι Liu et al. (2009) πρότειναν έναν συνδυασμό μεθόδων προσομοίωσης και εκτίμησης. Εξάγουν έναν τύπο για τον υπολογισμό του κόστους σε λογαριθμική μορφή σε σχέση με το μέγεθος της διαρροής και προσπάθησαν επίσης να εφαρμόσουν τη μεθοδολογία των πειραμάτων επιλογής (Choice Experiments) προκειμένου να εξαγάγουν την Προθυμία για Πληρωμή (WTP) μεταξύ των νοικοκυριών για την πρόληψη της ρύπανσης των παράκτιων πόρων από πετρελαιοκηλίδες. Σημειώνεται ότι σχετικές τεχνικές εφαρμόζονται κυρίως στην εκτίμηση της περιβαλλοντικής ζημιάς από πετρελαιοκηλίδες. Μια συζήτηση σχετικά με μια σειρά προσεγγίσεων για την εκτίμηση της οικονομικής αξίας των μη αγοραίων επιπτώσεων, προκειμένου να μετρηθούν οι περιβαλλοντικές ζημιές μέσω έμμεσης σύνδεσης των περιβαλλοντικών πόρων με ορισμένα αγαθά της αγοράς ή ακόμη και με την κατασκευή μιας υποθετικής αγοράς στην οποία ζητείται από τους ανθρώπους να πληρώσουν για αυτούς τους πόρους παρουσιάζεται από τους Kontovas & Psaraftis (2008).

Η δουλειά που έγινε από τους Ventikos et al. (2010) δίνει μια σαφή εικόνα του κόστους αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδων στην Ελλάδα. Το προαναφερθέν άρθρο λαμβάνει υπόψη έναν αριθμό μεταβλητών για τη σύνταξη ενός μοντέλου για την εκτίμηση του κόστους καθαρισμού και πιο συγκεκριμένα οι μεταβλητές αφορούν τον τύπο του πετρελαίου, την ποσότητα και την πρόσκρουση του στην ακτογραμμή. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η διάχυση πετρελαίου στην Ελλάδα φαίνεται να είναι αρκετά δαπανηρή, με αξία περίπου 25.000 ευρώ για τον περιορισμό διαρροής ενός τόνου πετρελαίου.

Ο τελευταίος τρόπος εκτίμησης του συνολικού κόστους των πετρελαιοκηλίδων, πραγματοποιείται με χρήση δεδομένων αποζημίωσης και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση δεδομένων από τις αποζημιώσεις που καταβάλλονται από το Διεθνές Ταμείο Αποζημίωσης Ρύπανσης Πετρελαίου (IOPCF). Μεταξύ των πρώτων αναλύσεων ήταν μια που πραγματοποιήθηκε από το ίδιο το IOPCF και παρουσιάστηκε στο Gray (1999).

Αξιολογήθηκαν 68 περιπτώσεις αποζημίωσης, κυρίως για να δοκιμαστούν τα όρια του συστήματος αποζημίωσης. Τέσσερις πρόσφατες περιπτώσεις όπου αναλύθηκαν δεδομένα του IOPCF ήταν γνωστές στους συγγραφείς πριν από τη δική τους ανάλυση.

Οι Friis-Hansen και Ditlevsen (2003) χρησιμοποίησαν την Ετήσια Έκθεση του 1999 (εκτός από εκείνα τα ατυχήματα που ανήκαν στις κατηγορίες «φόρτωση/εκφόρτωση», «κακός χειρισμός φορτίου» και «άγνωστος λόγος» που αφαιρέθηκαν από την ανάλυσή τους) και μετέτρεψαν όλα τα ποσά σε Ειδικές Μονάδες μέτρησης (SDR) με μια μέση ετήσια συναλλαγματική ισοτιμία που λαμβάνεται από το Διεθνές Νομισματικό Ταμείο. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκαν ιστορικά εθνικά επιτόκια για τα επιτόκια της αγοράς χρήματος για να κεφαλαιοποιηθεί όλο το κόστος σε μονάδες έτους 2000 και στη συνέχεια μετατροπή σε USD(2000). Ο Hendrickx (2007) πραγματοποίησε μια ανάλυση με βάση τα δεδομένα της Ετήσιας Έκθεσης του 2003 και ανέλυσε 91 περιπτώσεις μετατρέποντας κάθε ποσό αποζημίωσης σε δολάρια ΗΠΑ χρησιμοποιώντας για κάθε ατύχημα τη συναλλαγματική ισοτιμία στις 31 Δεκεμβρίου του έτους που συνέβη. Οι συναλλαγματικές ισοτιμίες της Τράπεζας της Αγγλίας χρησιμοποιήθηκαν για τα διαθέσιμα νομίσματα και για τα άλλα χρησιμοποιήθηκε διαδικτυακός ιστότοπος (OANDA.com). Δεν υπάρχει αναφορά ότι χρησιμοποιήθηκε δείκτης πληθωρισμού για να μεταφερθούν αυτά τα ποσά σε τρέχοντα δολάρια. Ο Yamada (2009) πραγματοποίησε μια ανάλυση παλινδρόμησης της ποσότητας που διέρρευσε (W) και του συνολικού κόστους χρησιμοποιώντας τις συναλλαγματικές ισοτιμίες που παρέχονται στην ίδια Ετήσια Έκθεση. Αυτές οι ισοτιμίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετατροπή ενός νομίσματος σε άλλο από τις 31 Δεκεμβρίου 2007 και δεν λαμβάνουν υπόψη την ώρα του ατυχήματος. Επιπλέον, δεν χρησιμοποιήθηκε δείκτης πληθωρισμού για την μετατροπή του κόστους σε δολάρια του 2008. Σημειώνεται ότι οι διαρροές κάτω του 1 τόνου εξαιρέθηκαν από την ανάλυση. Η ανάλυσή του αποτέλεσε τη βάση των υποβολών της Ιαπωνίας στο MEPC και, σε μεγάλο βαθμό, τη βάση της απόφασης του MEPC να προτείνει μια προσέγγιση βάσει όγκου διαρροής. Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, ο Psarros (2009) χρησιμοποίησε συνδυασμένα δεδομένα από δύο σύνολα δεδομένων, δηλαδή την έκθεση IOPCF και τη βάση δεδομένων ατυχημάτων που αναπτύχθηκε από το ερευνητικό πρόγραμμα SAFECO II της ΕΕ, και έτσι πραγματοποίησε ανάλυση παλινδρόμησης σε 183 περιστατικά πετρελαιοκηλίδας. Δεν είναι αμέσως σαφές από την ανάλυσή τους τι είναι η βάση δεδομένων SAFECO II και ποιες (εάν υπάρχουν) στρεβλώσεις εισάγει στην ανάλυση. Τα ποσά μετατράπηκαν σε USD(2008) λαμβάνοντας υπόψη το δείκτη πληθωρισμού.

Πριν την περιγραφή της ανάλυσης, είναι σημαντικό να σχολιαστούν οι περιορισμοί του συνόλου δεδομένων του IOPCF. Αρχικά, θα πρέπει να επισημανθεί ότι το κόστος που το IOPCF αναφέρει στο κοινό δεν είναι «πραγματικό» κόστος πετρελαιοκηλίδας, αλλά το χρηματικό ποσό που συμφωνήθηκε να αποζημιωθούν οι ενάγοντες. Αν και τα στοιχεία αποζημίωσης του IOPCF είναι πραγματικά και δεν μπορούν να αμφισβητηθούν, το ερώτημα είναι εάν τα στοιχεία αποζημίωσης μπορούν να προσεγγίσουν εύλογα το πραγματικό κόστος διαρροής ή, ελλείψει αυτού, εάν

μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ρεαλιστικά «υποκατάστατα» αυτού του κόστους. Οι εκτιμήσεις των ζημιών που υπολογίζονται με την εφαρμογή μεθοδολογιών οικονομικής αποτίμησης, η αξίωση αποζημίωσης και η αποζημίωση που τελικά καταβάλλεται στους ενάγοντες δεν μπορούν ποτέ να είναι ίσες (Thébaud et al., 2005). Επιπλέον, το IOPCF αποτελείται από τρεις διακυβερνητικούς οργανισμούς (το Ταμείο του 1971, το Ταμείο 1992 και το Συμπληρωματικό Ταμείο) που παρέχουν αποζημίωση για ζημιές από ρύπανση από πετρέλαιο που προκύπτουν από διαρροές πετρελαίου μόνο από δεξαμενόπλοια. Σημειώνεται περαιτέρω ότι οι αποδεκτές αξιώσεις δεν μπορούν να πληρωθούν πλήρως, ειδικά στην περίπτωση μεγάλων διαρροών, καθώς η συνολική αποζημίωση που καταβάλλεται περιορίζεται από τη Σύμβαση Αστικής Ευθύνης του 1992 (CLC) και το Ταμείο του 1992 σε 203, κατ' ανώτατο όριο, εκατομμύρια Special Drawing Rights (SDR-Ειδικά Δικαιώματα Ανάληψης, τα οποία αντιστοιχούσαν σε περίπου 327 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ τον Απρίλιο του 2008). Για παράδειγμα, στην περίπτωση του «Prestige» καταβλήθηκαν συνολικά 172 εκατομμύρια ευρώ από το Fund και CLC του 1992 (IOPCF, 2009) που είναι μόνο το 2% του συνολικού μακροπρόθεσμου κόστους της πετρελαιοκηλίδας (Liu and Wirtz, 2006). Τα όρια εξαρτώνται από την ολική χωρητικότητα του πλοίου (περισσότερες πληροφορίες παρέχονται στο IOPCF, 2009).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι ΗΠΑ δεν αποτελούν μέρος του IOPCF, το οποίο από τον Νοέμβριο του 2009 αριθμεί 103 χώρες. Επομένως, διαρροές όπως το «Echxon Valdez» δεν περιλαμβάνονται στην ανάλυση. Επιπλέον, από τον Νοέμβριο του 2009, μόνο 24 κράτη αποτελούν μέρη του Πρωτοκόλλου του Συμπληρωματικού Κεφαλαίου, το οποίο αύξησε τη μέγιστη πληρωτέα αποζημίωση σε περίπου 1210 εκατομμύρια USD (με βάση την ισοτιμία μετατροπής του SDR σε USD τον Απρίλιο του 2008). Είναι αρκετά ενδιαφέρον ότι οι πιο ακριβές απαιτήσεις (στο συνολικό κόστος μονάδας) προέρχονται από την Ιαπωνία, η οποία είναι ο κύριος συνεισφέρων του IOPCF και είναι μικρές διαρροές που προκαλούνται από λάθος χειρισμό της παροχής πετρελαίου. Ορισμένες από τις διαρροές έχουν αφαιρεθεί από την τελική ανάλυση ως ακραίες τιμές και σε σχετικές μελέτες, όπως η εργασία των Friis-Hansen και Ditlevsen (2003), δεν ελήφθησαν υπόψη όλες οι διαρροές που προκλήθηκαν από λάθος χειρισμό της προμήθειας πετρελαίου.

Τέλος, ένα άλλο σημαντικό ζήτημα που εγείρεται από πολλούς ερευνητές είναι ότι οι ισχυρισμοί του IOPCF πιθανώς υποτιμούν το κόστος των πετρελαιοκηλίδων δεδομένου ότι δεν περιλαμβάνουν το κόστος περιβαλλοντικής ζημίας. Μόνο οι αποδεκτές αξιώσεις λαμβάνονται υπόψη για να αποζημιωθούν και, πρακτικά, σύμφωνα με ιστορικά δεδομένα, λιγότερο από το 1% περιείχαν εκτιμήσεις ζημίας από φυσικούς πόρους (Helton και Penn, 1999). Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι, σύμφωνα με το IOPCF, «η αποζημίωση για περιβαλλοντική ζημιά (εκτός από την οικονομική ζημιά που προκύπτει από την υποβάθμιση του περιβάλλοντος) περιορίζεται στο κόστος για εύλογα μέτρα για την αποκατάσταση του ρυπασμένου περιβάλλοντος και, ως εκ τούτου, αξιώσεις για ζημιές για το οικοσύστημα δεν είναι αποδεκτές». Η θεμελιώδης εργασία από τους Helton και Penn (1999) συγκαταλέγεται μεταξύ των καλύτερων πηγών δαπανών που σχετίζονται με τη βλάβη των φυσικών

πόρων (NRD). Οι εκτιμήσεις NRD πραγματοποιούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες τις τελευταίες δεκαετίες και αποτελούν την καλύτερη πηγή για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής ζημίας από τις πετρελαιοκηλίδες. Τα δεδομένα κόστους αφορούν σε 48 περιστατικά διαρροής στις ΗΠΑ μεταξύ 1984 και 1997 και σύμφωνα με τους συγγραφείς στρέφονται προς μεγαλύτερες διαρροές. Πλήρη δεδομένα είναι διαθέσιμα για 30 περιπτώσεις και περιλαμβάνουν πετρελαιοκηλίδες από εγκαταστάσεις και αγωγούς. Ακόμη κι αν αυτό το σύνολο δεδομένων δεν μπορεί να προσφέρει αξιόπιστα αποτελέσματα, ένα από τα κύρια ευρήματα των Helton και Penn (1999) είναι ότι «σε αντίθεση με την αντίληψη του κοινού, το κόστος για τους φυσικούς πόρους και η εκτίμηση αποτελούν μόνο ένα μικρό μέρος της συνολικής ευθύνης από μια πετρελαιοκηλίδα». Το κόστος NRD στο αρχικό σύνολο δεδομένων ποικίλλει από 2,3% («Arco Anchorage») έως 94,9% («Apex Houston») του συνολικού κόστους. Αξίζει να σημειωθεί ότι για το ατύχημα «Nestucca» το κόστος NRD ήταν 20,5% και για το πιο ακριβό από άποψη συνολικού κόστους περίπτωση στην ιστορία των ΗΠΑ, καθώς για το «Exxon Valdez» το ποσοστό αυτό μειώνεται στο 9,7%.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει ότι τα δεδομένα IOPCF δεν αντιπροσωπεύουν ένα παγκόσμιο σύνολο δεδομένων, μπορεί να μην περιλαμβάνουν όλα τα σχετικά κόστη και, εξ ορισμού, υπάρχει ένα ανώτατο όριο στο μέγιστο κόστος πετρελαιοκηλίδας που μπορεί να επιστρέφεται. Επομένως, η χρήση τέτοιων δεδομένων για την εκτίμηση του συνολικού κόστους πετρελαιοκηλίδων μπορεί να αμφισβητηθεί, ακόμη και στην περίπτωση πετρελαιοκηλίδων που προκαλούνται μόνο από δεξαμενόπλοια. Από την άλλη πλευρά, εάν υπάρχουν πραγματικές δαπάνες που καταβάλλονται στα θύματα της ρύπανσης από πετρέλαιο, αυτό είναι πιθανώς εξίσου καλή πηγή τεκμηρίωσης αυτού του κόστους. Επιπλέον, είναι σαφές ότι αυτή η ανάλυση μπορεί να τροποποιηθεί με πρόσθετα δεδομένα, στο βαθμό που αυτά τα δεδομένα καταστούν διαθέσιμα. Για να γίνει η εκτίμηση του κόστους πετρελαιοκηλίδας πραγματοποιούνται τα παρακάτω βήματα:

- 1) Κατάργηση όλων των ελλিপών καταχωρήσεων και αξιώσεων που τελικά δεν πληρώθηκαν.
- 2) Όλες οι αξιώσεις για τον καθαρισμό και οι κατηγορίες συνολικού κόστους (στην περίπτωση πολλαπλών αξιώσεων), αθροίζονται με τη μετατροπή τους σε δολάρια ΗΠΑ τη στιγμή του ατυχήματος.
- 3) Το κόστος του προηγούμενου βήματος κεφαλαιοποιείται σε δολάρια ΗΠΑ χρησιμοποιώντας συντελεστές μετατροπής με βάση τον Δείκτη Τιμών Καταναλωτή (ΔΤΚ).

Το παραπάνω καταλήγει σε δύο σύνολα δεδομένων, ένα με δεδομένα για το κόστος καθαρισμού (CC) και τον όγκο (V) και ένα άλλο για το συνολικό κόστος (TC) και τον όγκο (V). Αυτά τα σύνολα δεδομένων δεν ήταν ασύνδετα. Στην πραγματικότητα, το πρώτο σύνολο δεδομένων περιείχε 84 εγγραφές, το δεύτερο είχε 91 καταχωρήσεις και 68 διαρροές αναφέρθηκαν τόσο στο CC όσο και στο TC. Σύμφωνα με τους Friis-Hansen και Ditlevsen (2003), ο λογάριθμος του όγκου της

πετρελαιοκηλίδας και ο λογάριθμος του συνολικού κόστους διαρροής συσχετίζονται θετικά, έχοντας πολύ υψηλό συντελεστή συσχέτισης. Η ανάλυσή των πιθανών προσαρμογών κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το διπλό λογαριθμικό, το πολλαπλασιαστικό και το διπλό αντίστροφο μοντέλο έχουν τους υψηλότερους συντελεστές συσχέτισης. Επομένως, το κόστος (TC και CC) και οι όγκοι (V) σχηματίστηκαν Log-trans και πραγματοποιήθηκε γραμμική παλινδρόμηση για τις δύο περιπτώσεις.

3.4 Κριτήρια αποδοχής κοινωνικού ρίσκου κατά τη διαδικασία λήψης αποφάσεων

Με τον όρο “κοινωνικό ρίσκο” προσδιορίζεται η σχέση ανάμεσα στη συχνότητα και τον αριθμό ατόμων που μπορεί να υποστούν ένα ατύχημα με δεδομένο πληθυσμό από την εμφάνιση ενός συγκεκριμένου κινδύνου (IChemE, 1992). Είναι ένα μέσο αποτίμησης του πως οι κίνδυνοι επιδρούν και επηρεάζουν μεγάλες ομάδες πληθυσμού, που βρίσκονται σε συγκεκριμένο μέρος και σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Λόγος γίνεται για μεγάλο μέρος πληθυσμού και όχι για μεμονωμένα άτομα. Επομένως το κοινωνικό ρίσκο βρίσκεται αντίκτυπο σε μεγάλο τμήμα ανθρώπων αγνοώντας μεμονωμένα περιστατικά. Αυτό σημαίνει ότι αν για παράδειγμα από ένα ενδεχόμενο ατύχημα εκτιμάται ότι θα υπάρχουν 2-3 θάνατοι, αυτό θα μπορούσε να μην είναι αρκετό για την επανεξέταση μιας δραστηριότητας που θα έχει όφελος για εκατομμύρια ανθρώπους.

3.4.1 Ποσοτικοποίηση κοινωνικού ρίσκου

Μια μέθοδος ποσοτικοποίησης του κοινωνικού ρίσκου είναι η χρήση των καμπύλων Frequency – Number (F-N). Πρόκειται για μια απεικόνιση συχνότητας N τραυματισμών (ή και παραπάνω) ανά ατύχημα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, με F να απεικονίζει τη συχνότητα θανάτων. Για να δημιουργηθεί μια F-N καμπύλη ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1: Προσδιορισμός θανάτων από ένα ατύχημα.

- Αν είναι γνωστός ο αριθμός αυτός απλώς καταγράφεται.
- Αν δεν είναι γνωστός προσεγγίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$N_{\kappa} = P_{\kappa} \cdot P_{d|\kappa} \cdot \Pi \rightarrow N_{\kappa} = IR_{\kappa} \cdot \Pi, \kappa = 0,1,2, \dots$$

Όπου,

N_{κ} : Αριθμός θανάτων από κ-οστό ατύχημα

P_k : Πιθανότητα εμφάνισης ατυχήματος

$P_{d|k}$: Πιθανότητα κ ατύχημα να προκαλέσει τουλάχιστον 1 θάνατο

Π : Συνολικός αριθμός ανθρώπων που έχουν εκτεθεί στο ρίσκο

IR_k : Ατομικό ρίσκο στο κ ατύχημα

Βήμα 2: Υπολογισμός αθροιστικής συχνότητας για το σύνολο ατυχημάτων ως αποτέλεσμα N ή περισσότερων νεκρών με $N=1,2,\dots$. Άρα,

$$F_N = \sum_k F_k$$

Για κάθε k τέτοιο ώστε $N_k > N$

Βήμα 3: Σχηματισμός/Δημιουργία καμπύλης.

Όπως αναφέρθηκε, η σχέση του Βήματος 2 χρησιμοποιείται όταν τα στοιχεία είναι ελλιπή. Επομένως πρόκειται για θεωρητική προσέγγιση ώστε να επιτευχθεί μια πρόβλεψη. Στην πράξη ο αριθμός θανάτων είναι γνωστός κατά την πραγματοποίηση ενός ατυχήματος. Πρέπει να τονιστεί ότι οι F-N καμπύλες δίνουν μόνο μια προσέγγιση του ρίσκου, απεικονίζοντας την αναμενόμενη σχέση ανάμεσα στη συχνότητα και στον αριθμό θανάτων.

Για τον αναμενόμενο αριθμό θανάτων σε κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και ο ορισμός της αναμενόμενης τιμής (μέσης τιμής) μιας κατανομής. Η κατανομή αυτή θα μπορούσε να είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της F-N καμπύλης, μιας και όπως ορίστηκε παραπάνω απεικονίζει το ζητούμενο αριθμό θανάτων. Πρόκειται για την "Πιθανότητα απώλειας ζωής", PLL.

$$PLL = \int x \cdot f_N(x) dx$$

Η παραπάνω σχέση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για άλλες αναμενόμενες απώλειες που σχετίζονται με το κοινωνικό ρίσκο (οικονομικές, περιβαλλοντικές κ.α.). Επομένως θα μπορούσαν να δημιουργηθούν πολλές F-N καμπύλες οι οποίες θα διατηρούν σταθερό τον κάθετο άξονα και μεταβαλλόμενο τον οριζόντιο. Ο οριζόντιος δηλαδή θα εκφράζει κάθε φορά τι εκάστοτε απώλειες είτε πρόκειται για ανθρώπους, ζώα, οικονομικά μεγέθη, κ.ά.

3.4.2 Διαδικασία λήψης αποφάσεων

Για τη λήψη αποφάσεων οι F-N καμπύλες δεν είναι αρκετές και πόσο μάλλον ο περιορισμός τους στις ανθρώπινες απώλειες. Οι επιδράσεις από μία πετρελαιοκηλίδα, όπως διατυπώθηκαν και στο πρώτο κεφάλαιο, είναι εμφανείς και σε άλλους τομείς. Για να παρθεί μία απόφαση πρέπει να συνυπολογιστούν όλες οι επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει ένα ενδεχόμενο ατύχημα. Η ακριβής όμως ποσοτικοποίηση όλων των παραμέτρων είναι μία δύσκολη, έως και ακατόρθωτη διαδικασία. Για το λόγο αυτό, για τη λήψη μιας απόφασης, εκτός από τις αρνητικές επιπτώσεις, πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη τα οφέλη και οι στόχοι πριν την οποιαδήποτε ενέργεια. Στην περίπτωση μας για παράδειγμα, οι εξέδρες άντλησης πετρελαίου και τα δεξαμενόπλοια αποτελούν μέσα εκμετάλλευσης πετρελαίου, το οποίο χρήσιμο σε πολλαπλά επίπεδα.

3.5 Μέθοδοι αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδας

Οι πετρελαιοκηλίδες είναι επικίνδυνες καθώς το θαλάσσιο οικοσύστημα επηρεάζεται και η ύπαρξη θαλάσσιων μορφών ζωής απειλείται. Δεδομένου ότι λόγω ατυχημάτων δημιουργούνται πετρελαιοκηλίδες, καθίσταται σημαντικό να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι καθαρισμού πετρελαιοκηλίδων. Οι διαρροές πετρελαίου ποικίλλουν ως προς τη σοβαρότητα και την έκταση της ζημιάς που προκαλούν. Παρακάτω αναφέρονται 10 μέθοδοι που εφαρμόζονται για τον καθαρισμό των πετρελαιοκηλίδων και την αποκατάσταση του θαλάσσιου περιβάλλοντος (marineinsight, 2022).

3.5.1 Oil Booms

Ο περιορισμός των πετρελαιοκηλίδων είναι μια απλή και δημοφιλής μέθοδος ελέγχου των πετρελαιοκηλίδων. Ο εξοπλισμός που ονομάζεται φράγμα περιορισμού λειτουργεί ως φράκτης εμποδίζοντας έτσι την περαιτέρω εξάπλωση του πετρελαίου. Τα φράγματα αυτά τα οποία επιπλέουν στην επιφάνεια της θάλασσας αποτελούνται από τρία μέρη

- “Ελεύθερη σανίδα” είναι το τμήμα που περιέχει το πετρέλαιο, υψώνεται πάνω από την επιφάνεια του νερού και εμποδίζει το πιτσίλισμά του πάνω από την επιφάνεια αυτή.
- Μια “φούστα” τοποθετείται κάτω από την επιφάνεια και εμποδίζοντας έτσι το πετρέλαιο τη διαφυγή του και τη συμπίεσή του κάτω από βραχίονες.

- Ένα είδος καλωδίου ή αλυσίδας που συνδέει τα μέρη ενισχύει και σταθεροποιεί το φράγμα πετρελαιοκηλίδας. Με τον τρόπο αυτό το φράγμα περικλείει την πετρελαιοκηλίδα με σκοπό να την περιορίσει.

Η μέθοδος αυτή είναι τελεσφόρα μόνο σε περιπτώσεις που το πετρέλαιο βρίσκεται μόνο σε ένα σημείο και όταν χρησιμοποιείται λίγες μόνο ώρες μετά τη διαρροή. Σε αντίθετη περίπτωση, αν περάσει αρκετή ώρα μετά τη διαρροή και με τη συνεισφορά του ανέμου, των δυνατών κυμάτων και των κυμαινόμενων παλινρροιών γεγονός που καθιστά τη διαχείριση της πολύ δύσκολη έως και αδύνατη.

3.5.2 Skimmers

Τα skimmers χρησιμοποιούνται σε σκάφη με σκοπό να απομακρύνουν το πετρέλαιο από την επιφάνεια του νερού μόνο όταν αυτό έχει περιοριστεί με τη βοήθεια φραγμάτων. Έτσι τα skimmers λειτουργούν ως ηλεκτρικές σκούπες απορροφώντας το πετρέλαιο που βρίσκεται στην επιφάνεια της θάλασσας. Με τη βοήθειά τους λοιπόν διαχωρίζεται φυσικά το πετρέλαιο από το νερό. Επιπλέον, τα skimmers χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματική ανάκτηση του μεγαλύτερου μέρους του πετρελαίου που έχει διαρρεύσει, επομένως είναι οικονομικά βιώσιμο. Η παρουσία διάφορων εμποδίων όπως συντρίμια ή φυσικά εμπόδια δυσκολεύουν αυτή τη μέθοδο αφού τα skimmers μπορούν εύκολα να φράξουν.

3.5.3 Sorbents

Τα sorbents είναι υλικά που απορροφούν υγρά είτε με απορρόφηση είτε με προσρόφηση καθώς σχηματίζουν ένα στρώμα στην επιφάνεια. Οι δύο αυτές ιδιότητες καθιστούν πολύ πιο εύκολη τη διαδικασία του καθαρισμού. Ο σανός, η τύρφη, ο βερμικουλίτης και το άχυρο είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως ως απορροφητικά. Επιπλέον το πετρέλαιο μπορεί να ανακτηθεί και αυτό αποτρέπει τη σπατάλη και την περαιτέρω ρύπανση. Μετά την απορρόφηση, τα sorbents πρέπει να ανακτώνται αποτελεσματικά. Αυτό είναι ένα δύσκολο έργο και μπορεί να αποδειχθεί χειρότερο αν αγνοηθεί. Τα sorbents, μετά την απορρόφηση, γίνονται 3 έως και 15 φορές βαρύτερα με αποτέλεσμα να βυθίζονται, κάνοντας έτσι δύσκολη την ανάκτησή τους και προκαλούν πολλαπλούς κινδύνους στην υδρόβια ζωή της θάλασσας. Η μέθοδος αυτή είναι άκρως αποτελεσματική σε περιπτώσεις μικρών διαρροών ή στη διαχείριση των υπολειπόμενων ιχνών μεγαλύτερης διαρροής.

Με αυτή την τεχνική, όσο πετρέλαιο επιπλέει στην επιφάνεια της θάλασσας αναφλέγεται ώστε να καεί. Έτσι αυτή η μέθοδος είναι άκρως αποτελεσματική σε σχέση με τις επόμενες αφού μπορεί να καεί μέχρι και το 98% του συνολικού πετρελαίου. Σύμφωνα με τους Obi et al. (2008), για να συμβεί αυτό το στρώμα της κηλίδας στην επιφάνεια του νερού θα πρέπει να είναι το λιγότερο 3mm. Σε αντίθετη περίπτωση και αν το στρώμα ήταν πολύ λεπτό θα ήταν αδύνατο να αναφλεχθεί. Ακόμα, εξαιτίας των τοξικών αναθυμιάσεων που απελευθερώνονται προκαλούνται σημαντικές ζημίες στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η διαδικασία αυτή είναι αποτελεσματική σε σχετικά φρέσκες διαρροές όπου το πετρέλαιο δε προλαβαίνει να εξαπλωθεί με αποτέλεσμα να μειωθεί το πάχος του.

3.5.5 Dispersants

Σε περιπτώσεις που το πετρέλαιο που έχει διαρρεύσει δεν μπορεί να συγκρατηθεί με τη χρήση πλωτών φραγμάτων, η μόνη λύση που είναι να επιταχυνθεί η διάσπαση του. Έτσι, η φυσική διάσπαση των συστατικών του πετρελαίου επιτυγχάνεται με τη χρήση διασκορπιστικών που ψεκάζονται από σκάφη ή αεροσκάφη. Πρόκειται για χημικές ουσίες που δεν επιτρέπουν τη διαφυγή του πετρελαίου από την επιφάνεια του νερού, ώστε να μπορεί να αποδομηθεί από τα μικρόβια στη συνέχεια. Η τεχνική αυτή είναι κατάλληλη σε μεγάλες διαρροές. Η χρήση των χημικών αυτών ουσιών δημιουργεί σταγόνες πετρελαίου, τα λεγόμενα tarballs. Στη συνέχεια το πετρέλαιο αναμιγνύεται με το νερό, με άμμο καθώς και με διάφορα άλλα υπολείμματα που βρίσκονται σε αυτό με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μεγάλα tarballs που εκβράζονται στις ακτές. Τα θαλάσσια χόρτα καθώς και μη κινητοί οργανισμοί όπως τα κοράλλια μπορούν να επηρεαστούν αρνητικά από τους τοξικούς αυτούς διασκορπιστές.

3.5.6 Hot Water and High-Pressure Washing

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως σε δυσπρόσιτες για μηχανήματα περιοχές και σε μέρη όπου είναι αδύνατη η χρήση των skimmers και booms. Με τη χρήση ταχυθερμαντήρων το νερό θερμαίνεται στους 170°C και στη συνέχεια ψεκάζονται ράβδοι ή ακροφύσια υψηλής πίεσης. Το πετρέλαιο ξεπλένεται έτσι στην επιφάνεια του νερού, το οποίο μπορεί να συλλεχθεί με skimmers ή ροφητές. Στη συνέχεια το πετρέλαιο πρέπει να ανακτηθεί για να αποτραπεί η περαιτέρω ρύπανση. Όσοι οργανισμοί βρίσκονται στην περιοχή του ψεκασμού έχουν αυξημένες πιθανότητες τραυματιστούν από το ζεστό νερό.

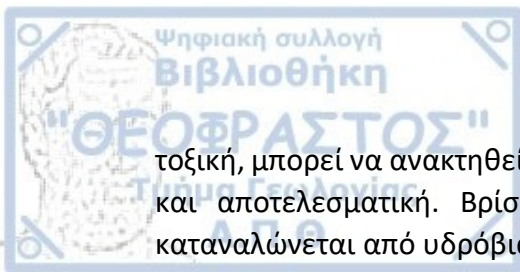
Πρόκειται για μια χειρωνακτική μέθοδο με τη χρήση εργαλείων και την απομάκρυνση των ρύπων. Το επιφανειακό πετρέλαιο απομακρύνεται με τη χρήση φτυαριών, τσουγκράνων ακόμα και με χέρια και τοποθετείται σε ειδικά δοχεία που στη συνέχεια αφαιρούνται από την ακτή. Μερικές φορές σε περιοχές που είναι δυσπρόσιτες χρησιμοποιείται μηχανοποιημένος εξοπλισμός, που όμως μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες ζημιές στις ακτές. Αυτή η μέθοδος ισχύει μόνο για τον καθαρισμό μη βραχωδών ακτών. Η μέθοδος αυτή είναι η πιο οικονομικά βιώσιμη, καθώς το προσωπικό που προσλαμβάνεται συνήθως είναι ανειδίκευτο και απαιτείται ελάχιστη εκπαίδευση των εργαζομένων. Εκτός από υψηλής έντασης εργασία, αυτή η διαδικασία είναι και χρονοβόρα.

3.5.8 Bioremediation

Η βιοαποκατάσταση είναι μια διαδικασία διαχείρισης αποβλήτων με τη χρήση μικροοργανισμών για την απομάκρυνση και εξουδετέρωση επιβλαβών και τοξικών ουσιών. Διάφοροι οργανισμοί όπως βακτήρια, μύκητες αλλά και φύκια αποδομούν τα προϊόντα του πετρελαίου, το μεταβολίζουν και το διασπούν σε απλούστερα μη τοξικά μόρια όπως είναι τα λιπαρά οξέα και το διοξείδιο του άνθρακα. Πολλές φορές προστίθενται λιπάσματα με σκοπό να παρέχουν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για τη γρήγορη ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό των μικροβίων. Τα λιπάσματα αυτά συμβάλλουν και στη γρήγορη ανάπτυξη ανεπιθύμητων φυκών τα οποία καταναλώνουν μέρος του διαθέσιμου αποτρέποντας έτσι τις ακτίνες του ηλίου να φτάσουν σε βαθύτερα σημεία. Πρόκειται για μια διαδικασία που απαιτεί αρκετό χρόνο και μπορεί να διαρκέσει ακόμη και χρόνια, επομένως σε περίπτωση που απαιτείται κάποια επείγουσα ενέργεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο γρήγορες λύσεις, όπως η χρήση βραχιόνων και skimmers ή sorbents.

3.5.9 Chemical stabilisation of oil by elastomizers

Η αποτροπή της εξάπλωσης του πετρελαίου και η ρύπανση των παρακείμενων περιοχών αποτελεί το πρωτεύον μέλημα μετά από μία πετρελαιοκηλίδα. Παρόλο που οι μηχανικές μέθοδοι όπως η χρήση πλωτών φραγμάτων πετρελαίου περιορίζουν το πετρέλαιο σε μεγάλο βαθμό έχουν περιορισμένες δυνατότητες. Με τη χρήση ζελατίνης το πετρέλαιο ζελατινοποιείται ή στερεοποιείται στην επιφάνεια της θάλασσας, αποτρέποντας έτσι τη εξάπλωσή του. Ακόμα, η ζελατίνη είναι μη



τοξική, μπορεί να ανακτηθεί με απλές διαδικασίες καθιστώντας τη χρήση της εύκολη και αποτελεσματική. Βρίσκεται κυρίως σε τρόφιμα και είναι θανάσιμη όταν καταναλώνεται από υδρόβια ζώα.

3.5.10 Natural Recovery

Η αξιοποίηση της φύσης και πιο συγκεκριμένα του ήλιου, του ανέμου, του καιρού, των παλιρροιών ή ακόμα και των φυσικών μικροβίων αποτελούν την απλούστερη μέθοδο καθαρισμού. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως όταν η ακτογραμμή είναι απρόσιτη ή πολύ απόμακρη ή όταν τα οφέλη μειώνονται από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του καθαρισμού μιας διαρροής. Έτσι το πετρέλαιο διασπάται σε απλούστερα συστατικά ή εξατμίζεται αφού τα στοιχεία αυτά παραμένουν σταθερά. Θεωρείται μία από τις οικονομικότερες μεθόδους αλλά είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα, χρειάζεται συνεχή παρακολούθηση και είναι αναξιόπιστη. Η τοποθεσία που συνέβη η πετρελαιοκηλίδα αποτελεί καθοριστικό παράγοντα. Είναι γεγονός ότι οι περισσότερες πετρελαιοκηλίδες γίνονται σε μέρη πολύ μακριά από τις ακτές με αποτέλεσμα να αφήνονται να αποσυντεθούν στο περιβάλλον με φυσικό τρόπο. Ωστόσο, όσο πλησιάζουν στις ακτές, απαιτούνται συγκεκριμένες δράσεις αντιμετώπισης.



Κεφάλαιο 4. Εκτίμηση κόστους διαρροής πετρελαίου

4.1 Μοντέλα εκτίμησης κόστους διαρροής πετρελαίου

4.1.1 Μοντέλο EPA BOSCEM

Το EPA Basic Oil Spill Cost Estimation Model (BOSCEM) αναπτύχθηκε από την Environmental Research Consulting (Etkin, 2004) για να παρέχει στο Πρόγραμμα Πετρελαίου της USEPA μια μεθοδολογία για την εκτίμηση του κόστους πετρελαιοκηλίδων, συμπεριλαμβανομένων του κόστους απόκρισης και των περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών ζημιών, για πραγματικές ή υποθετικές διαρροές (Jacobsson, 2007). Το μοντέλο μπορεί να ποσοτικοποιήσει τη σχετική ζημιά και το κόστος για διαφορετικούς τύπους διαρροής για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των κανονισμών, τον σχεδιασμό μέτρων έκτακτης ανάγκης και την αξιολόγηση της αξίας των μέτρων πρόληψης και μείωσης των διαρροών. Το EPA BOSCEM ενσωματώνει παράγοντες που σχετίζονται με τη διαρροή που επηρεάζουν το κόστος – ποσότητα διαρροής, τύπος πετρελαίου, μεθοδολογία απόκρισης και αποτελεσματικότητα, επηρεαζόμενο περιβαλλοντικό μέσο, κοινωνικοοικονομική αξία συγκεκριμένης τοποθεσίας, ευαισθησία στα γλυκά νερά, ευαισθησία οικοτόπου/άγριας ζωής και τύπο τοποθεσίας. Η συμπερίληψη αυτών των ειδικών παραγόντων διαρροής στο συγκεκριμένο μοντέλο παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτίμηση του κόστους πετρελαιοκηλίδας από ό,τι οι καθολικές τιμές ανά γαλόνι που χρησιμοποιούνται αλλού. Η βασική δομή του μοντέλου επιτρέπει τον καθορισμό μεθοδολογιών απόκρισης, συμπεριλαμβανομένων των διασκορπιστικών και της επιτόπιας καύσης, που μπορεί να έχουν μελλοντικές εφαρμογές σε περιβάλλοντα γλυκού νερού και στην ενδοχώρα. Η αποτελεσματικότητα απόκρισης μπορεί επίσης να προσδιοριστεί, επιτρέποντας την ανάλυση των πιθανών πλεονεκτημάτων από βελτιώσεις απόκρισης.

Η εφαρμογή του EPA BOSCEM απαιτεί τα ακόλουθα βήματα:

1) Εισαγωγή κριτηρίων διαρροής:

- Την ποσότητα του πετρελαίου που χύθηκε (σε γαλόνια)
- Τη βασική κατηγορία τύπου πετρελαίου
- Την πρωτογενή μεθοδολογία απόκρισης και την αποτελεσματικότητά της
- Τον τύπο της θέσης πετρελαιοκηλίδας
- Τις κοινωνικοοικονομικές και πολιτιστικές αξίες της τοποθεσίας της διαρροής
- Την κατηγορία ευπάθειας του γλυκού νερού της θέσης διαρροής
- Την κατηγορία ευαισθησίας του οικοτόπου και της άγριας πανίδας της θέσης της διαρροής.

- 2) Υπολογισμός του κόστους διαρροής. Το κόστος καθαρισμού μιας πετρελαιοκηλίδας είναι το άθροισμα του κόστους απόκρισης, η αξία του, η κοινωνικοοικονομική ζημιά και το περιβαλλοντικό κόστος.

$$\begin{aligned} & \text{Συνολικό κόστος πετρελαιοκηλίδας} \\ &= \text{Συνολικό κόστος απόκρισης} \\ &+ \text{Συνολικό κόστος κοινωνικοοικονομικής ζημιάς} \\ &+ \text{Συνολικό κόστος περιβαλλοντικής ζημιάς} \end{aligned}$$

Όπου,

$$\begin{aligned} & \text{Συνολικό κόστος απόκρισης} \\ &= \text{Κόστος απόκρισης ανά γαλόνι} \times \text{μέσος συντελεστής μετατροπής} \\ & \times \text{Ποσότητα διαρροής} \end{aligned}$$

Όπου, το βασικό κόστος απόκρισης ανά γαλόνι είναι το κόστος για την εξάλειψη 1 γαλονιού πετρελαίου από το περιβάλλον. Το βασικό κόστος απόκρισης ανά γαλόνι εξαρτάται από τις μεθόδους απόκρισης όπως ο μηχανικός καθαρισμός, η διασπορά, η επιτόπια επεξεργασία ή οι προσεγγίσεις χειροκίνητης αφαίρεσης. Ο μέσος συντελεστής μετατροπής είναι μια τιμή που διαφέρει για μια πετρελαιοκηλίδα σε ανοιχτά νερά, υγρότοπο, λασπότοπο, χώμα ή άμμο.

$$\begin{aligned} & \text{Συνολικό κόστος κοινωνικοοικονομικής ζημιάς} \\ &= \text{Κοινωνικοοικονομικό κόστος ανά γαλόνι} \\ & \times \text{συντελεστής μετατροπής κοινωνικοοικονομικού κόστους} \\ & \times \text{Ποσό διαρροής} \end{aligned}$$

Όπου, το κοινωνικοοικονομικό κόστος ανά γαλόνι αντιστοιχεί στον αντίκτυπο του 1 γαλονιού πετρελαίου στον τοπικό και περιφερειακό τουρισμό, την εμπορική αλιεία, τις εγκαταστάσεις αναψυχής, τα εθνικά πάρκα, τους θαλάσσιους πόρους, τα θαλασσινά τοπία, την ιδιωτική ιδιοκτησία και τις επιπτώσεις στη λειτουργία των πλωτών οδών και λιμανιών. Αυτό το κόστος εξαρτάται από τον τύπο πετρελαίου και το μέγεθος διαρροής. Ο συντελεστής μετατροπής κοινωνικοοικονομικού κόστους διαφέρει ανάλογα με τον κοινωνικοοικονομικό τομέα που επηρεάζεται.

$$\begin{aligned} & \text{Συνολικό κόστος περιβαλλοντικής ζημιάς} \\ &= \text{Κόστος περιβάλλοντος ανά γαλόνι} \\ & \times 0,5(\text{Γλυκό νερό} + \text{συντελεστής μετατροπής άγριας ζωής}) \\ & \times \text{Ποσότητα διαρροής} \end{aligned}$$

Όπου, το κόστος περιβάλλοντος ανά γαλόνι αντιστοιχεί στο κόστος της ζημιάς που προκαλείται από 1 γαλόνι πετρελαίου. Το κόστος των ζημιών υπολογίζεται από το χρηματικό ποσό που είναι απαραίτητο για την αποκατάσταση της περιβαλλοντικής ζημιάς.

4.1.2 Μοντέλο OSRCEAT

Ο σκοπός του εργαλείου ανάλυσης κόστους-αποτελεσματικότητας αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδας (Oil spill response cost-Effectiveness analytical - OSRCEAT) είναι να συγκρίνει το κόστος απόκρισης με το όφελος της απόκρισης – δηλαδή, να διεξάγει μια μορφή ανάλυσης κόστους-οφέλους των επιλογών απόκρισης για μια συγκεκριμένη υποθετική (ή πραγματική) πετρελαιοκηλίδα (Etkin, 2005). Το εργαλείο μπορεί να εφαρμοστεί με τη χρήση μιας σειράς αλγορίθμων που μπορούν να εφαρμοστούν με στυλό, χαρτί και αριθμομηχανή ή, πιο εύκολα, με τη χρήση ενός διαδικτυακού εργαλείου λογισμικού. Με τη συμβολή του χρήστη σχετικά με τις παραμέτρους διαρροής, τους παράγοντες τοποθεσίας και τις επιλογές απόκρισης, το OSRCEAT υπολογίζει το κόστος απόκρισης, το κόστος των περιβαλλοντικών (φυσικών) πόρων και τις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις μιας ποσότητας πετρελαίου που διέρρευσε και των επιπτώσεων των εργασιών της απόκρισης. Οι ζημιές χωρίς απόκριση αντιπαραβάλλονται με τις ζημιές με την απόκριση (η βελτίωση που προσφέρει η απόκριση). Οι ζημιές της ίδιας της απόκρισης αφαιρούνται από τη διαφορά στις ζημιές με και χωρίς την απόκριση για να προκύψει το όφελος απόκρισης. Το κόστος απόκρισης μπορεί στη συνέχεια να συγκριθεί με το όφελος απόκρισης. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να συγκρίνει διάφορες επιλογές απόκρισης για να υπολογίσει τα πιθανά οφέλη υπό το πρίσμα της μεγιστοποίησης του οφέλους απόκρισης. Το εργαλείο χρησιμοποιείται καλύτερα με αυτόν τον τρόπο – για να συγκρίνονται και να αντιπαραβάλλονται τα σχετικά οφέλη και τα κόστη των διαφόρων επιλογών απόκρισης.

Το OSRCEAT επιτρέπει στο χρήστη να αξιολογήσει τις ακόλουθες ερωτήσεις:

1. Πόσο πετρέλαιο παραμένει μετά την αφαίρεση του στο νερό;
2. Πόση ποσότητα πετρελαίου θα μείνει στην ακτογραμμή;
3. Ποιοι φυσικοί και κοινωνικοοικονομικοί πόροι επί του νερού επηρεάζονται και σε ποιο βαθμό, λαμβάνοντας να ληφθεί υπόψη η αφαίρεση πετρελαίου στο νερό;
4. Πώς διαχέεται το πετρέλαιο στην ακτογραμμή;
5. Ποιοι τύποι και μήκη ακτογραμμών επηρεάζονται και σε ποιο βαθμό;
6. Ποιοι φυσικοί και κοινωνικοοικονομικοί πόροι της ακτής επηρεάζονται και σε ποιο βαθμό;

7. Τι αντίκτυπο έχει η αντιμετώπιση της ρύπανσης της ακτογραμμής στους φυσικούς πόρους της ακτής;
8. Σε ποιο βαθμό η αντιμετώπιση της ρύπανσης της ακτογραμμής μετριάξει τις ζημιές του πετρελαίου;
9. Ποιο είναι το συνολικό κόστος αντιμετώπισης (στο νερό και στην ακτογραμμή);
10. Ποιο είναι το συνολικό κόστος των ζημιών στους φυσικούς πόρους (στο νερό και στην ακτογραμμή);
11. Ποιο είναι το συνολικό κόστος των ζημιών σε κοινωνικοοικονομικούς πόρους (στο νερό και στην ακτογραμμή);
12. Ποια είναι η αναλογία κόστους-οφέλους της αντιμετώπισης;

Οι τιμές και οι τύποι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του κόστους, των επιπτώσεων, της αποτελεσματικότητας και των οφελών στο OSRCEAT βασίζονται στα καλύτερα διαθέσιμα, επί του παρόντος, δεδομένα από πραγματικά ιστορικά περιστατικών πετρελαιοκηλίδων, μελέτες πεδίου, δοκιμές δεξαμενών και εργαστηρίων, παρατηρήσεις αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδων και ερευνητών, καθώς και μοντελοποίηση υποθετικών πετρελαιοκηλίδων. Ως εκ τούτου, υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις, εκτιμήσεις και «μέσοι όροι» του κόστους και των επιπτώσεων που είναι εγγενείς στους αλγόριθμους του αναλυτικού εργαλείου. Στην πραγματικότητα, κάθε διαρροή είναι ένα μοναδικό συμβάν με ένα συγκεκριμένο σύνολο περίπλοκων συνθηκών που μπορεί να μην αντιπροσωπεύονται με ακρίβεια από το OSRCEAT ή οποιοδήποτε άλλο εργαλείο μοντελοποίησης. Τα αποτελέσματα κόστους-οφέλους που λαμβάνονται από τη χρήση του OSRCEAT εξαρτώνται τόσο από την είσοδο δεδομένων του χρήστη όσο και από την εφαρμογή των αλγορίθμων στο μοντέλο. Το πιθανό σφάλμα και των δύο αυτών παραγόντων, και η μοναδικότητα κάθε συγκεκριμένου συμβάντος διαρροής, σημαίνει ότι υπάρχουν αναπόφευκτες αβεβαιότητες που είναι εγγενείς στη χρήση του OSRCEAT. Ως εκ τούτου, το εργαλείο προορίζεται να βοηθήσει στη διαδικασία λήψης αποφάσεων αντιμετώπισης πετρελαιοκηλίδων και σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης και να λειτουργεί ως βάση συζήτησης στην αξιολόγηση και ανάλυση των επιλογών αντιμετώπισης. Το OSRCEAT θα πρέπει πάντα να εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας τις καλύτερες διαθέσιμες πληροφορίες για μια συγκεκριμένη διαρροή και υπό την καθοδήγηση έμπειρων ειδικών στην αντιμετώπιση τέτοιων συμβάντων. Πολλές καταστάσεις διαρροής θα έχουν ιδιαίτερα ευαίσθητους πόρους για προστασία ή ειδικές εκτιμήσεις περιορισμών για επιλογές απόκρισης (Etkin, 2005) .

Ο χρήστης κάνει έναν αριθμό επιλογών για να υπολογίσει το:

- Κόστος αντιμετώπισης στο νερό
- Κόστος αντιμετώπισης ακτογραμμής Αυτά τα κόστη προστίθενται για να ληφθεί το συνολικό κόστος απόκρισης.

Ο χρήστης κάνει επίσης έναν αριθμό επιλογών για να υπολογίσει τις:

- Ζημιές στους φυσικούς πόρους και
- Κοινωνικοοικονομικές ζημιές. Αυτά τα κόστη αθροίζονται για να ληφθούν οι Συνολικές ζημιές.

Στη συνέχεια, το OSRCEAT υπολογίζει:

- Συνολικό κόστος απόκρισης
- Συνολικές Ζημιές
- Ζημιές αντιμετώπισης (η ζημιά που προκαλεί η ίδια η αντιμετώπιση)

Το όφελος αντιμετώπισης υπολογίζεται με βάση την καθορισμένη μέθοδο αντιμετώπισης (σε σύγκριση με καμία απολύτως αντιμετώπιση). Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει το όφελος αντιμετώπισης για τη σύγκριση εναλλακτικών στρατηγικών αντιμετώπισης. Υπάρχουν δύο τύποι δεδομένων που εισάγει ο χρήστης για διαφορετικά είδη μεταβλητών. Η φόρμα εισαγωγής δεδομένων απαιτεί από τον χρήστη να καθορίσει τιμές για ορισμένες μεταβλητές και να επιλέξει τιμές για άλλες μεταβλητές. Ο χρήστης πρέπει να καθορίσει την τιμή ορισμένων μεταβλητών, δηλαδή να εισαγάγει μια τιμή. Ένα παράδειγμα θα ήταν η καταχώριση "153.065 γαλόνια" κάτω από το Ποσό Διαρροής. Για άλλες μεταβλητές, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει από μια σειρά επιλογών. Ένα παράδειγμα θα ήταν η επιλογή του "μεσαίου αργού" στον τύπο πετρελαίου. Για τις περισσότερες μεταβλητές υπάρχουν προεπιλεγμένες επιλογές. Εάν ο χρήστης δεν εισαγάγει μια τιμή ή δεν κάνει μια επιλογή, υπάρχει μια προεπιλεγμένη τιμή.

Για τον υπολογισμό του κόστους πετρελαιοκηλίδας με τη χρήση του μοντέλου OSRCEAT πραγματοποιούνται τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1: Υπολογισμός ποσοστού του υπολειπόμενου πετρελαίου

Ποσοστό υπολειπόμενου πετρελαίου X = Γαλόνια πετρελαίου που απομένουν

Το ποσοστό πετρελαίου που απομένει βασίζεται στον χρόνο απόκρισης και τον τύπο πετρελαίου. Ο χρόνος απόκρισης πρέπει να υπολογιστεί με βάση την είσοδο απόστασης από την ακτή.

Βήμα 2: Υπολογισμός ζημιών κοινωνικοοικονομικών πόρων επί του νερού [Κόστος B], [Κόστος D]

[Κόστος B] = Συνολικές κοινωνικοοικονομικές ζημιές στο νερό χωρίς απόκριση

[Κόστος D] = Συνολικές κοινωνικοοικονομικές ζημιές στο νερό με απόκριση

Βάση του τύπου πετρελαίου και της ποσότητας διαρροής (G) εκτιμάται ένα κόστος ανά γαλόνι και πολλαπλασιάζεται ολόκληρο το αποτέλεσμα με την ποσότητα διαρροής και τους συντελεστές μετατροπής (ανάλογα με τους επιλεγμένους κοινωνικοοικονομικούς πόρους).

Βήμα 3: Υπολογισμός του αντίκτυπου απόκρισης στο νερό [Κόστος F]

Αυτό το βήμα χρειάζεται μόνο εάν η απόκριση στο νερό είναι «διασκορπιστική» και οι κοινωνικοοικονομικοί πόροι στο νερό περιλαμβάνουν την αλιεία, το πόσιμο νερό, την ψυχαγωγική αλιεία ή/και την πρόσληψη νερού. Εάν όλα αυτά ισχύουν, τότε ο Αντίκτυπος απόκρισης στο νερό = $0,12 * \text{κοινωνικοοικονομικές ζημιές στο νερό}$.

Βήμα 4: Υπολογισμός ζημιών φυσικών πόρων επί του νερού [Κόστος E], [Κόστος C]

[Κόστος E] = Συνολικές ζημιές φυσικών πόρων επί του νερού χωρίς απόκριση

[Κόστος C] = Συνολικές ζημιές φυσικών πόρων επί του νερού με απόκριση

Γίνεται χρήση φόρμουλας με βάση τον τύπο πετρελαίου και εισάγεται η ποσότητα διαρροής (G). Αυτό δίνει το κόστος ανά γαλόνι, το οποίο πολλαπλασιάζεται με την ποσότητα διαρροής και τους συντελεστές μετατροπής (ανάλογα με τους επιλεγμένους φυσικούς πόρους). Σημειώνεται ότι οι συντελεστές μετατροπής είναι προσθετικοί εάν επιλεγούν περισσότεροι από ένας πόροι. Η επιλογή περισσότερων από δύο πόρων θα αλλάξει τα αποτελέσματα.

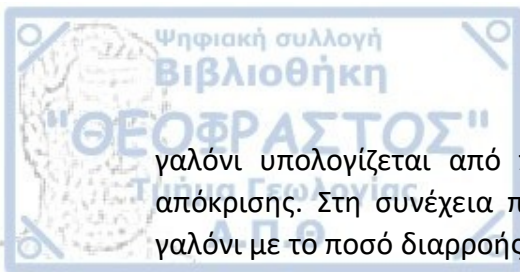
Βήμα 5: Υπολογισμός της απόδοσης απόκρισης στο νερό (ποσοστό αφαίρεσης στο νερό)

Η απόδοση απόκρισης στο νερό βασίζεται σε τύπους με προσαρμοσμένο χρόνο απόκρισης για μηχανική απόκριση και σε τύπο πετρελαίου για απόκριση διασποράς. Βασίζεται σε μια καθορισμένη απόδοση απόκρισης 50% για καύση, εάν ο ρυθμισμένος χρόνος απόκρισης είναι μικρότερος από 36 ώρες. Επίσης, η καύση εφαρμόζεται μόνο ως απόκριση εάν ο τύπος πετρελαίου δεν είναι καύσιμο αεριωθουμένων ή βενζίνη και όχι εάν η απόσταση από την ακτή είναι "κοντά στην ακτή" ή μικρότερη από 3 μίλια ή εάν ο άνεμος είναι δυνατός ή θυελλώδης. Για μη απόκριση, η αποτελεσματικότητα απόκρισης ισούται με 0. Αυτό το βήμα μπορεί και να παραληφθεί και να ορισθεί απευθείας η τιμή απόκρισης.

Βήμα 6: Υπολογισμός του κόστους απόκρισης στο νερό [Κόστος A]

Κόστος απόκρισης στο νερό = Κόστος βάσης παρακολούθησης + Κόστος βάσης κινητοποίησης + (Επιπλέον κόστος ανά γαλόνι * Ποσό διαρροής) + Κόστος διάθεσης

Το Βασικό Κόστος Παρακολούθησης προέρχεται από τύπο που βασίζεται στην ποσότητα διαρροής. Το Βασικό Κόστος Κινητοποίησης προκύπτει από τον τύπο που βασίζεται στην ποσότητα διαρροής (εκτός = 0 για καμία απάντηση). Το Κόστος ανά



γαλόνι υπολογίζεται από πίνακα με βάση τον τύπο πετρελαίου και τον τύπο απόκρισης. Στη συνέχεια πραγματοποιείται πολλαπλασιασμός του κόστους ανά γαλόνι με το ποσό διαρροής.

Κόστος διάθεσης μόνο για απόκριση = Μηχανική Απόκριση = 5 x (Ποσοστό υπολειπόμενου πετρελαίου X Αποδοτικότητα απόκρισης X ποσότητα διαρροής)

Βήμα 7: Υπολογισμός πραγματικού υπολειπόμενου πετρελαίου

Πραγματικό υπόλοιπο πετρελαίου = (Ποσοστό υπολειπόμενου πετρελαίου * Ποσότητα διαρροής) * (100% - Ποσοστό απόδοσης απόκρισης)

Αυτό το αποτέλεσμα πρέπει να προσαρμοστεί ανάλογα με την κατεύθυνση του ανέμου και την απόσταση από την ακτή (3-10 μίλια, 10-50 μίλια ή 50 μίλια) και τον τύπο των επιφανειακών υδάτων είναι «ανοιχτό θαλάσσιο» ή «ανοιχτό γλυκό νερό». Εάν αυτό ισχύει, πολλαπλασιάζεται με το πραγματικό υπολειπόμενο πετρέλαιο.

Βήμα 8: Υπολογισμός απόκρισης πετρελαίου ακτογραμμής

Η κάλυψη των ακτών υπολογίζεται με βάση το πραγματικό πετρέλαιο που απομένει (υπολογίστηκε προηγουμένως) πολλαπλασιασμένο με τη συνολική επιφάνεια που καλύπτει το πετρέλαιο υποθέτοντας ένα παχύ στρώμα με συνεχή κάλυψη. Η επιλογή γίνεται με βάση τον τύπο της ακτογραμμής. Το OSRCEAT υποθέτει ότι η συνολική επιφάνεια ακτογραμμής που έχει καλυφθεί κατανέμεται ομοιόμορφα στους επιλεγμένους τύπους ακτών (εάν υπάρχουν περισσότεροι από ένας). Η συνολική έκταση πρέπει να διαιρεθεί με τον αριθμό των επιλεγμένων τύπων ακτών. (π.χ., εάν 10.000 γαλόνια φτάσουν σε μία ακτογραμμή και 4 τύποι ακτογραμμών έχουν καλυφθεί, κάθε τύπος ακτογραμμής καλύπτεται με 2.500 γαλόνια x 3.785 m² σε έκταση.)

Πραγματικό Υπολειπόμενο Πετρέλαιο * 3,785 m² = Συνολική επιφάνεια (m²) πετρελαίου ακτογραμμής.

Το βήμα αυτό μπορεί να παρακαμφθεί καθορίζοντας συγκεκριμένη κάλυψη ακτών. Από το διαδίκτυο μπορεί να επιλεγεί ο τύπος/τύποι ακτογραμμής, κάλυψη και πάχος πετρελαίου.

Βήμα 9: Υπολογισμός κόστους απόκρισης ακτογραμμής [Κόστος G]

Το κόστος απόκρισης ακτογραμμής εξαρτάται από την καλυπτόμενη περιοχή, τον τύπο της ακτογραμμής, τον τύπο πετρελαίου, το πάχος, την κάλυψη και το συντελεστή προσαρμογής HCIC (Συντελεστής επιπέδου καθαριότητας). Ο υπολογισμός γίνεται ως εξής:

Πολλαπλασιασμός κόστους απόκρισης ακτογραμμής ανά περιοχή * Περιοχή
* συντελεστής προσαρμογής κάλυψης * Συντελεστής προσαρμογής HCIC.

Εάν επιλεγούν πολλοί τύποι ακτογραμμής, το κόστος πρέπει να υπολογιστεί προσθέτοντας κάθε τύπο ακτογραμμής/κατάλληλη τιμή πάχους πετρελαίου για:

Κόστος ανά περιοχή * Περιοχή που καλύπτεται * Συντελεστής προσαρμογής κάλυψης και πολλαπλασιασμός του αποτελέσματος * Συντελεστής προσαρμογή HCIC.

Όπου HCIC (How clean is clean) ο συντελεστής προσαρμογής επιπέδου καθαρισμού, ανάλογα με το αν είναι μέγιστο, υψηλό, μεσαίο, χαμηλό, ελάχιστο.

Βήμα 10: Υπολογισμός αποτελεσματικότητας απόκρισης ακτογραμμής

Η αποτελεσματικότητα απόκρισης ακτογραμμής σχετίζεται με τον τύπο της ακτογραμμής, τη μέθοδο απόκρισης ακτογραμμής και το HCIC. Από τον πίνακα 3 (Artic και Marine, 2005) φαίνεται η υποτιθέμενη αποτελεσματικότητα της μεθόδου απόκρισης για κάθε τύπο ακτογραμμής και συνδυασμό μεθόδου απόκρισης ως H (υψηλή) (80%), M (μέτρια) (20%) ή L (χαμηλή) (10%). Αυτός ο παράγοντας χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τη μείωση του κοινωνικοοικονομικού αντίκτυπου και των φυσικών πόρων της ακτογραμμής. Εάν επιλεγούν περισσότεροι από ένας τύποι ακτογραμμής/τύποι απόκρισης, η απόδοση απόκρισης θα πρέπει να υπολογιστεί κατά μέσο όρο με τη χρήση ενός σταθμισμένου μέσου όρου με βάση τις σχετικές περιοχές των διαφορετικών τύπων ακτογραμμής.

Βήμα 11: Υπολογισμός του αντίκτυπου απόκρισης ακτογραμμής [Κόστος J]

Πολλαπλασιασμός κόστους απόκρισης ακτογραμμής * Συντελεστή μετατροπής επιπτώσεων απόκρισης.

Οι τιμές του συντελεστή μετατροπής αντίκτυπου απόκρισης φαίνονται στον Πίνακα 4 (παράρτημα II) με βάση τον τύπο της ακτογραμμής και τη μέθοδο απόκρισης που χρησιμοποιείται. Για H = 0,3, M = 0,1, L = 0. Πολλαπλασιάζεται ολόκληρο το αποτέλεσμα με τον παράγοντα HCIC. Αν HCIC = υψηλό πολλαπλασιάζεται με 1,5, αν HCIC = μεσαίο πολλαπλασιάζεται με 1,0, αν HCIC = μέγιστο πολλαπλασιάζεται με 3, αν HCIC = χαμηλό πολλαπλασιάζεται με 0,5 και αν HCIC = ελάχιστο πολλαπλασιάζεται με 0,1.

Κόστος απόκρισης ακτογραμμής * Συντελεστής μετατροπής επιπτώσεων απόκρισης
* παράγοντας HCIC = Αντίκτυπος απόκρισης ακτογραμμής

Βήμα 12: Υπολογισμός κοινωνικοοικονομικών ζημιών της ακτογραμμής [Κόστος Η]

Το κοινωνικοοικονομικό κόστος ακτογραμμής ανά γαλόνι προέρχεται από έναν τύπο που βασίζεται στον τύπο πετρελαίου και την ποσότητα του πετρελαίου που βρίσκεται

στην ακτογραμμή (ίδιο με το πραγματικό εναπομένον πετρέλαιο) πολλαπλασιαζόμενο με τον συντελεστή μετατροπής κοινωνικοοικονομικών πόρων ακτής. Στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται το κόστος ανά γαλόνι με την πραγματική ποσότητα πετρελαίου που απομένει. Τέλος, οι κοινωνικοοικονομικές ζημιές στην ακτογραμμή πολλαπλασιάζονται με 1 μείον %αποτελεσματικότητα απόκρισης της ακτογραμμής, ώστε να ληφθούν οι πραγματικές ζημιές κοινωνικοοικονομικών πόρων ακτογραμμής.

Βήμα 13: Υπολογισμός ζημιών φυσικών πόρων στην ακτογραμμή [Κόστος Ι]

Το κόστος ζημιάς φυσικών πόρων ακτών ανά γαλόνι προκύπτει από τύπο που βασίζεται στον τύπο πετρελαίου και την ποσότητα του πετρελαίου που φτάνει στην ακτογραμμή (ίδιο με το πραγματικό εναπομένον πετρέλαιο) πολλαπλασιαζόμενο με τον συντελεστή μετατροπής ζημιάς φυσικών πόρων ακτών. Στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται το κόστος ανά γαλόνι με την πραγματική ποσότητα πετρελαίου που απομένει. Τέλος, οι ζημιές φυσικών πόρων της ακτογραμμής πολλαπλασιάζονται επί 100% μείον %αποτελεσματικότητα απόκρισης στην ακτογραμμή, ώστε να ληφθούν οι πραγματικές ζημιές φυσικών πόρων της ακτογραμμής.

Βήμα 14: Υπολογισμός ζημιών κοινωνικοοικονομικών και φυσικών πόρων χωρίς απόκριση [Κόστος D], [Κόστος E], [Κόστος K], [Κόστος L].

[Κόστος D] = Συνολικές κοινωνικοοικονομικές ζημιές στο νερό χωρίς απόκριση

[Κόστος E] = Συνολικές ζημιές φυσικών πόρων στο νερό χωρίς απόκριση

[Κόστος K] = Συνολικές κοινωνικοοικονομικές ζημιές ακτογραμμής χωρίς απόκριση

[Κόστος L] = Συνολικές ζημιές φυσικών πόρων ακτογραμμής χωρίς απόκριση

Για ζημιές κοινωνικοοικονομικών και φυσικών πόρων στο νερό, τα αποτελέσματα είναι τα ίδια με τα βήματα 2 και 4. Για ζημιές κοινωνικοοικονομικών και φυσικών πόρων παράκτιας γραμμής γίνεται επανάληψη των βημάτων 12 και 13, αλλά με χρήση του προεπιλεγμένου Ελάχιστου %Υπολειπόμενου πετρελαίου πολλαπλασιασμένο με την ποσότητα διαρροής.

Βήμα 15: Υπολογισμός συνολικού κόστους (συνοπτικά τα παραπάνω)

Συνολικό κόστος απόκρισης στο νερό = Κόστος A

Συνολικό κόστος απόκρισης ακτογραμμής = Κόστος G

Συνολικό κόστος απόκρισης = Κόστος A + Κόστος G = Κόστος M

Επίδραση απόκρισης στο νερό = Κόστος F

Αντίκτυπος απόκρισης ακτογραμμής = Κόστος J

Συνολικός αντίκτυπος απόκρισης = Κόστος F + Κόστος J = Κόστος Q

Συνολικές κοινωνικοοικονομικές ζημιές στο νερό χωρίς απόκριση = Κόστος D

Συνολικές ζημιές φυσικών πόρων στο νερό χωρίς απόκριση = Κόστος E

Συνολικές κοινωνικοοικονομικές ζημιές στο νερό χωρίς απόκριση = Κόστος K

Συνολικές ζημιές φυσικών πόρων ακτογραμμής χωρίς απόκριση = Κόστος L

Συνολικές ζημιές χωρίς απόκριση = Κόστος D + Κόστος E + Κόστος K + Κόστος L = Κόστος R

Συνολικές κοινωνικοοικονομικές ζημιές στο νερό με απόκριση = Κόστος B

Συνολικές ζημιές φυσικών πόρων στο νερό με απόκριση = Κόστος C

Συνολικές κοινωνικοοικονομικές ζημιές ακτογραμμής με απόκριση = Κόστος H

Συνολικές ζημιές φυσικών πόρων ακτογραμμής με απόκριση = Κόστος I

Συνολικές ζημιές με απόκριση = Κόστος B + Κόστος C + Κόστος H + Κόστος I = Κόστος P

Όφελος απόκρισης = Κόστος R – [Κόστος P + Κόστος Q]

Αναλογία κόστους ωφέλειας = Κόστος M : [Όφελος απόκρισης]

Συνολικό κόστος απόκρισης ÷ Όφελος απόκρισης = Αναλογία κόστους/οφέλους

Ο λόγος κόστους/οφέλους μπορεί να υπολογιστεί με βάση τις ζημιές τόσο στους κοινωνικοοικονομικούς όσο και στους φυσικούς πόρους ή να υπολογιστεί με βάση μόνο τις ζημιές σε φυσικούς πόρους, ανάλογα με τις ανάγκες.

Οι επιμέρους υπολογισμοί των βημάτων περιλαμβάνουν μια σειρά αλγορίθμων που βασίζονται σε εμπειρικά δεδομένα. Οι υπολογισμοί «ποσοστό πετρελαίου που απομένει» υπολογίζουν το ποσοστό του αρχικού πετρελαίου που διέρρευσε το οποίο παραμένει στο νερό με βάση τον τύπο πετρελαίου, την ποσότητα διαρροής, τις επικρατούσες συνθήκες (άνεμος, θερμοκρασία νερού) και τον χρόνο απόκρισης. Οι τύποι ποσοστού υπολειπόμενου πετρελαίου βασίζονται στην εφαρμογή του λογισμικού ADIOS (Έκδοση 2) της NOAA σε διάφορα μεγέθη διαρροής, θερμοκρασίες νερού και ταχύτητες ανέμου για τους τύπους πετρελαίου που μπορούν να επιλεγούν στο μοντέλο OSRCEAT. Οι εξισώσεις καλύτερης προσαρμογής αναπτύχθηκαν από τη γραφική έξοδο των αποτελεσμάτων του ADIOS. Οι απλοποιημένοι συντελεστές μετατροπής για τη θερμοκρασία του νερού και τους ανέμους εκτιμήθηκαν με βάση τη σύγκριση γραφημάτων με διαφορετικές ρυθμίσεις. Άλλες πληροφορίες προήλθαν από τους Davis, et al. (2004), NRC (1999, 2003) και Fingas (2001). Το ποσοστό

πετρελαίου που απομένει (γ) εφαρμόζεται στη συνέχεια στην αρχική ποσότητα διαρροής για να εκτιμηθεί η ποσότητα πετρελαίου στο νερό που μπορεί να αντιμετωπιστεί στην απόκριση (t). Υπάρχει ένα ελάχιστο ποσοστό πετρελαίου που απομένει ανεξάρτητα από το χρόνο απόκρισης, ανάλογα με τον τύπο πετρελαίου. Ο χρόνος απόκρισης προσαρμόζεται με βάση την απόσταση διαρροής από την ακτή. Ο χρόνος άφιξης στην ακτογραμμή είναι ο βασικός χρόνος, με προστιθέμενες 2 ώρες για <3 μίλια, 6 ώρες για 3-10 μίλια, 12 ώρες για 10-50 μίλια και 24 ώρες για 50 μίλια. Δεν γίνεται καμία ρύθμιση για διαρροές κοντά στην ακτή.

Οι αναφερόμενοι πίνακες καθώς και όσοι επιπλέον χρειάζονται θα δοθούν στο επόμενο κεφάλαιο όπου θα χρειαστεί να γίνουν και οι αντίστοιχοι υπολογισμοί.

Κεφάλαιο 5. Εφαρμογή των μοντέλων στο ατύχημα του Ιxtoc I

5.1 Παρουσίαση και προέλευση δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ένα από τα μεγαλύτερα περιστατικά δημιουργίας πετρελαιοκηλίδας ήταν αυτό στον κόλπο του Μεξικού, στο Ιxtoc I. Πρόκειται για την τρίτη σε μέγεθος ρύπανση που προκλήθηκε από έκρηξη σε πλατφόρμα άντλησης πετρελαίου. Από το συγκεκριμένο ατύχημα διέρρευσαν πάνω από 140.000.000 γαλόνια πετρελαίου στη θάλασσα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πετρελαιοκηλίδας στα ανοιχτά των ακτών ΗΠΑ, μήκους περίπου 80 χιλιομέτρων (Patton, 1981). Η μεγάλη έκταση του συγκεκριμένου ατυχήματος έγινε η αφορμή να επιλεγεί, ώστε να γίνει μια προσπάθεια εκτίμησης του κόστους του προέκυψε από αυτό. Για την εκτίμηση του παραπάνω κόστους απαιτείται ο προσδιορισμός και η σύνοψη ορισμένων στοιχείων/χαρακτηριστικών όπως αναφέρεται και στη διαδικασία εφαρμογής (Πίνακας 3).

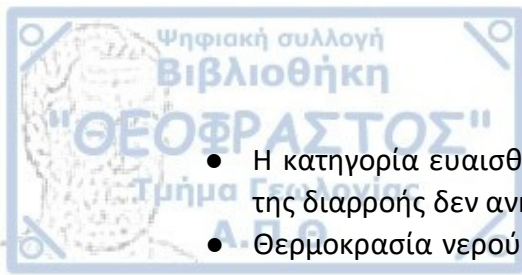
Πίνακας 3: Λεπτομέρειες περιστατικού Ιxtoc I

Πρωταρχική απειλή	Πετρέλαιο
Αναφορές	Σύγκρουση
Προϊόντα ανησυχίας	Ιxtoc I Μαζούτ
Γεωγραφικό πλάτος (κατά προσέγγιση)	19°24.50 Βόρεια
Γεωγραφικό μήκος (κατά προσέγγιση)	92°19.50' Δυτικά
Ανάκτηση στο νερό	Άγνωστο / Δεν εφαρμόζεται
Καθαρισμός ακτών	Άγνωστο / Δεν εφαρμόζεται
Διασκορπιστικά	Εφαρμόζεται
In – Situ Burn	Εφαρμόζεται
Βιοαποκατάσταση	Άγνωστο / Δεν εφαρμόζεται

Πηγή: IncidentNews

Από τον παραπάνω πίνακα και τις υπόλοιπες πληροφορίες που έχουν αναφερθεί στο κείμενο μπορεί να γίνει η εισαγωγή των κριτηρίων διαρροής:

- Χύθηκαν περίπου 140.000.000 γαλόνια πετρελαίου
- Η βασική κατηγορία τύπου πετρελαίου είναι: Crude oil
- Η πρωτογενής μεθοδολογία απόκρισης και η αποτελεσματικότητά της: Dispersants και In – Situ Burn
- Ο τύπος της θέσης πετρελαιοκηλίδας είναι: Open water/Shore
- Οι κοινωνικοοικονομικές και πολιτιστικές αξίες της τοποθεσίας της διαρροής είναι: Very high
- Για την κατηγορία ευπάθειας του γλυκού νερού της θέσης διαρροής επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα: Non - Specific



- Η κατηγορία ευαισθησίας του οικοτόπου και της άγριας πανίδας της θέσης της διαρροής δεν ανήκει στις κατηγορίες του πίνακα: Other, Sensitive
- Θερμοκρασία νερού: Μεγαλύτερη από 25°C και μέτριοι άνεμοι 5-10 κόμβοι (kts) (Front, 2014)
- Το 25% του συνολικού πετρελαίου βυθίστηκε στο βυθό του κόλπου (Jernelov, 1981)

5.2 Εφαρμογή του EPA BOSCEM μοντέλου στα δεδομένα

Οι υπολογισμοί που ακολουθούν στηρίζονται στους Πίνακες του μοντέλου EPA BOSCEM που παρατίθενται στο Παράρτημα Ι. Με βάση όλα τα παραπάνω είναι δυνατό να ξεκινήσουν οι υπολογισμοί του συνολικού κόστους της πετρελαιοκηλίδας (σε USD σε τιμές 2000).

- Κόστος απόκρισης διαρροής (SRC)

$$\begin{aligned} SRC &= (0,5 \times 22 + 0,5 \times 13) \times 0,5(0,9 + 3,2) \times 140.000.000 \\ &= 17,5 \times 2,05 \times 140.000.000 \\ &= 5.022.500.000 \text{ USD} \end{aligned}$$

(Πίνακες 1, 7 και 8 από το Παράρτημα Ι).

- Κοινωνικοοικονομικό κόστος (SC)

$$\begin{aligned} SC &= 60 \times 0,7 \times 140.000.000 \\ &= 5.880.000.000 \text{ USD} \end{aligned}$$

(Πίνακες 2 και 5 από Παράρτημα Ι)

- Περιβαλλοντικό Κόστος (EC)

$$\begin{aligned} EC &= 30 \times 0,9 \times 140.000.000 \\ &= 3.780.000.000 \text{ USD} \end{aligned}$$

(Πίνακες 3 και 7 από Παράρτημα Ι)



➤ Συνολικό κόστος (TC)

$$TC = 5.022.500.000$$

$$+5.880.000.000$$

$$+3.780.000.000$$

$$= 14.682.500.000 \text{ USD}$$

Επομένως το εκτιμώμενο κόστος πετρελαιοκηλίδας βάση του μοντέλου EPA BOSCEM μοντέλου είναι 14.682.500.000 USD.

Το αντίστοιχο κόστος ανά γαλόνι είναι: $14.682.500.000/140.000.000 = 10,488 \text{ USD}$. Και όπως είναι φυσικό για κάθε αύξηση γαλονιού, διατηρώντας τις υπόλοιπες συνθήκες σταθερές, αυξάνεται και το συνολικό κόστος.

5.3 Εφαρμογή του OSRCEAT μοντέλου στα δεδομένα

Οι υπολογισμοί που ακολουθούν στηρίζονται στους Πίνακες του μοντέλου OSRCEAT που παρατίθενται στο Παράρτημα II. Για να υπολογιστούν τα κόστη, εκτός από τους Πίνακες του Παραρτήματος II απαιτούνται και τα παρακάτω συγκεντρωτικά δεδομένα (Πίνακας 4):

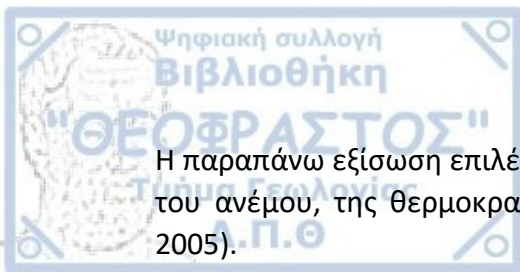
Πίνακας 4: Συγκεντρωτικά δεδομένα περιστατικού Ιχθός Ι

Τύπος πετρελαίου	Heavy Crude
Ποσότητα διαρροής	140.000.000 γαλόνια
Απόσταση από την ακτή	3-10 μίλια
Τύπος κάλυψης	Συνεχής
Τύπων επιφανειακών νερών	Θαλάσσιο
Θερμοκρασία νερού	30°C
Άνεμοι που επικρατούν	Μέτριοι (15kts)
Τύπος ακτογραμμής	Graver Beach
HCIC	High
Κοινωνικοοικονομικοί πόροι στο νερό	High value
Φυσικοί πόροι στο νερό	Highly Sensitive
Τύπος απόκρισης	Dispersant

Υπολογισμοί

➤ Υπολογισμός υπολειπόμενου πετρελαίου:

$$y = 0,9851x^{-0,0719}(0,96) = 0,25$$



Η παραπάνω εξίσωση επιλέχθηκε από τον πίνακα υπολειπόμενου πετρελαίου βάσει του ανέμου, της θερμοκρασίας και του τύπου πετρελαίου που διέρρευσε (Etkin, 2005).

➤ Υπολογισμός κοινωνικοοικονομικών πόρων στο νερό

- $\text{Κοινωνικοοικονομικές ζημιές} = 1370,8G^{-0,2236}$

Η παραπάνω εξίσωση επιλέχθηκε από τον πίνακα ζημιών κοινωνικοοικονομικών πόρων στο νερό βάσει του τύπου πετρελαίου που διέρευσε (Etkin, 2005).

- $\text{Συνολικές κοινωνικοοικονομικές ζημιές}$
$$= S \times G \times (1370,8G^{-0,2236})$$
$$= 1,4 \times 140.000.000 \times (1370,8 \times 140.000.000^{-0,2236})$$
$$= 4.052.807.147 \text{ USD}$$

(Πίνακας 2 από Παράρτημα II)

➤ Υπολογισμός φυσικών πόρων στο νερό

- $\text{Ζημιές φυσικών πόρων} = 256,28G^{-0,1366}$

Η παραπάνω εξίσωση επιλέχθηκε από τον πίνακα ζημιών φυσικών πόρων στο νερό βάσει του τύπου πετρελαίου που διέρρευσε (Etkin, 2005).

- $\text{Συνολικές ζημιές φυσικών πόρων}$
$$= S \times G \times (256,28G^{-0,1366})$$
$$= 2,5 \times 140.000.000 \times (256,28 \times 140.000.000^{-0,1366})$$
$$= 6.918.644.920 \text{ USD}$$

(Πίνακας 4 από Παράρτημα II)

➤ Υπολογισμός κόστους απόκρισης στο νερό

- $\text{Υπολειπόμενο πετρέλαιο στο νερό} = 25\% = 0,25$
- $\text{Κόστος βάσης παρακολούθησης: } 3236,7x^{0,4387}$
- $\text{Κόστος βάσης κινητοποίησης: } 35,388x^{0,2762}$

Οι παραπάνω εξισώσεις επιλέχθηκαν από τον πίνακα υπολογισμού κόστους απόκρισης ζημιών στο νερό (Etkin, 2005).

- $\text{Κόστος απόρριψης} = 5 \times 0,25 \times 140.000.000 = 175.000.000 \text{ USD}$

- $\text{Συνολικό κόστος απόκρισης στο νερό}$

$$= 3236,7x^{0,4387} + 35,388x^{0,2762} + 29 * 140.000.000 + 175.000.000 = 4.247.134.840 \text{ USD}$$

➤ Υπολογισμός απόκρισης απόδοσης (για το πετρέλαιο που παραμένει στην επιφάνεια)

- $\text{Υπολειπόμενο ποσοστό πετρελαίου} = 60\%$

- $\text{Πραγματικό υπολειπόμενο πετρέλαιο} = 140.000.000 \times 0,6 \times 0,4 = 33.600.000 \text{ USD}$

➤ Ζημιές κοινωνικοοικονομικών πόρων ακτογραμμής (με απόκριση)

- $\text{Συνολικές ζημιές κοινωνικοοικονομικών πόρων} = S \times C \times (1370,8C^{-0,2236})$

$$= 2,9 \times 33.600.000 \times 1370,8 \times 33.600.000^{-0,2236} = 2.671.415.040 \text{ USD}$$

Η παραπάνω εξίσωση επιλέχθηκε από τον πίνακα ζημιών κοινωνικοοικονομικών πόρων ακτογραμμής βάση του τύπου πετρελαίου που χύθηκε (Etkin, 2005).

(Πίνακας 7 από Παράρτημα II)

➤ Ζημιές φυσικών πόρων ακτογραμμής (με απόκριση)

- $\text{Συνολικές ζημιές φυσικών πόρων} = S \times C \times (256,28C^{-0,1366})$

$$= 4 \times 33.600.000 \times 256,28 \times 33.600.000^{-0,1366} = 3.228.613.354 \text{ USD}$$

Η παραπάνω εξίσωση επιλέχθηκε από τον πίνακα ζημιών φυσικών πόρων ακτογραμμής βάση του τύπου πετρελαίου που χύθηκε (Etkin, 2005).

Για το κοινωνικοοικονομικό κόστος και το φυσικών πόρων κόστος ανά γαλόνι ακτογραμμής χωρίς απόκριση υπολογίζονται εκ νέου οι αντίστοιχοι τύποι με διαφορετικό ποσοστό υπολειπόμενου πετρελαίου. Το ποσοστό πετρελαίου επιλέγεται από τον πίνακα κόστους ζημιών πετρελαίου στο νερό βάσει του τύπου πετρελαίου και στη δική μας περίπτωση για heavy crude πετρέλαιο το ποσοστό είναι 63% (Etkin, 2005). Οι υπόλοιπες μεταβλητές των τύπων παραμένουν ίδιες. Επομένως το υπολειπόμενο πετρέλαιο θα είναι:

$$C^* = 140.000.000 \times 0,63 \times 0,4 = 35.280.000$$

Άρα έχουμε:

➤ Ζημιές κοινωνικοοικονομικών πόρων ακτογραμμής (χωρίς απόκριση)

- Συνολικές ζημιές κοινωνικοοικονομικών πόρων = $S \times C^* \times (1370,8C^{*-0,2236})$

$$= 2,9 \times 35.280.000 \times 1370,8 \times 35.280.000^{-0,2236} = 2.879.209.592 \text{ USD}$$

➤ Ζημιές φυσικών πόρων ακτογραμμής (χωρίς απόκριση)

- Συνολικές ζημιές φυσικών πόρων = $S \times C^* \times (256,28C^{*-0,1366})$

$$= 4 \times 35.280.000 \times 256,28 \times 35.280.000^{-0,1366} = 3.367.525.396 \text{ USD}$$

Συνολικό κόστος πετρελαιοκηλίδας (με απόκριση)

$$TC = 4.052.807.147 + 6.918.644.920 + 2.671.415.040 + 3.228.613.354 \\ = 16.871.480.461 \text{ USD}$$

Συνολικό κόστος πετρελαιοκηλίδας (χωρίς απόκριση)

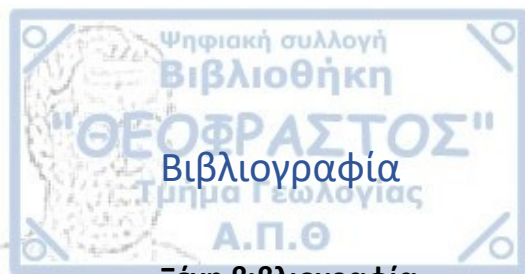
$$TC^* = 4.052.807.147 + 6.918.644.920 + 2.879.209.592 + 3.367.525.396 \\ = 17.218.187.055 \text{ USD}$$

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα

Τα περιστατικά δημιουργίας πετρελαιοκηλίδων είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύθηκαν οι επιπτώσεις που επιφέρει η διαρροή πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον μελετώντας σχετικά ατυχήματα. Το είδος και μέγεθος των αρνητικών συνεπειών δημιουργεί την ανάγκη για άμεση αποκατάσταση των ζημιών και επαναφορά στην προ του ατυχήματος κατάσταση. Η επαναφορά αυτή απαιτεί διαφορετικά κόστη ανάλογα με τους παράγοντες και τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε ατυχήματος. Η ποσοτικοποίηση όλων των παραμέτρων δεν είναι εύκολη διαδικασία, για την ακρίβεια είναι πρακτικά αδύνατη, και για το λόγο αυτό περιορίζεται σε τρεις παράγοντες που είναι οι οικονομικοί, περιβαλλοντικοί και κοινωνικοί.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας αναλύθηκαν διάφορα μοντέλα εκτίμησης του κόστους πετρελαιοκηλίδων. Ορισμένα από τα μοντέλα αυτά είναι απλά στη χρήση τους (απαιτούν μόνο την εκτίμηση του όγκου της πετρελαιοκηλίδας), ενώ άλλα προϋποθέτουν τη γνώση περισσότερων παραμέτρων. Στο πλαίσιο της διπλωματικής έγινε χρήση δύο συγκεκριμένων μοντέλων, των EPA BOSCEM και OSRCEAT, για την εκτίμηση του κόστους πετρελαιοκηλίδας του ατυχήματος στον κόλπο του Μεξικού το 1979. Με την έκρηξη της πλατφόρμας Ixtoc I, όπως αναφέρθηκε, διέρρευσαν στη θάλασσα 140 εκατομμύρια γαλόνια πετρελαίου. Σύμφωνα με το μοντέλο EPA BOSCEM το συνολικό κόστος ανέρχεται σε 14.682.500.000 USD. Το πολύ μεγάλο αυτό ποσό ήταν αναμενόμενο καθώς πρόκειται για τη μεγαλύτερη διαρροή γαλονιών παγκοσμίως. Αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας το μοντέλο OSRCEAT εκτιμήθηκε το συνολικό κόστος σε 16.871.480.461 USD με απόκριση και σε 17.218.187.055 USD χωρίς απόκριση. Και οι δύο μέθοδοι έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η πρώτη είναι πιο γρήγορη και άμεση αλλά λαμβάνει υπόψη λιγότερες παραμέτρους σε σχέση με τη δεύτερη και για αυτό θεωρείται λιγότερο ακριβής.

Με τη χρήση των παραπάνω μεθόδων μπορεί να γίνει εκτίμηση για όλα τα ατυχήματα διαρροής πετρελαίου στη θάλασσα αρκεί να γνωρίζει τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Επιπλέον αξίζει να αναφερθεί ότι τα μοντέλα, όπως διαπιστώθηκε, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για πολλαπλές συγκρίσεις. Η αξία αυτής της διαδικασίας επιτρέπει μεταβάλλοντας κάποιες παραμέτρους και κρατώντας τις υπόλοιπες σταθερές, να αξιολογηθούν οι τρόποι αντιμετώπισης ενός ατυχήματος με βάση τις συνθήκες του περιβάλλοντος όπου πραγματοποιήθηκε και την ποσότητα πετρελαίου που χύθηκε.



Ξένη βιβλιογραφία

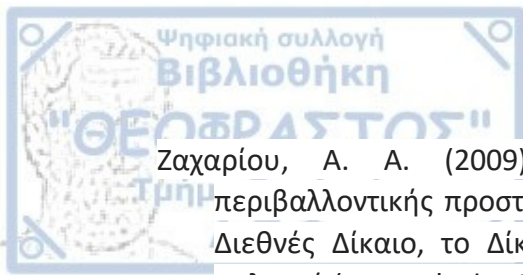
- Board, M., Board, O. S., & National Research Council. (2003). *Oil in the sea III: inputs, fates, and effects*. national academies Press.
- Clark, R. A., Fox, C. J., Viner, D., & Livermore, M. (2003). North Sea cod and climate change—modelling the effects of temperature on population dynamics. *Global Change Biology*, 9(11), 1669-1680.
- Cohen, M. A. (1986). The costs and benefits of oil spill prevention and enforcement. *Journal of Environmental Economics and Management*, 13(2), 167-188.
- Davis, J. P., & Foegeding, E. A. (2004). Foaming and interfacial properties of polymerized whey protein isolate. *Journal of Food Science*, 69(5), C404-C410.
- Desch-Obi, M. T. J. (2008). *Fighting for honor: The history of African martial art traditions in the Atlantic world*. Univ of South Carolina Press.
- Díez, S., Jover, E., Bayona, J. M., & Albaigés, J. (2007). Prestige oil spill. III. Fate of a heavy oil in the marine environment. *Environmental science & technology*, 41(9), 3075-3082.
- Etkin, D. S. (1999). Estimating cleanup costs for oil spills. In *International oil spill conference* (Vol. 1999, No. 1, pp. 35-39). American Petroleum Institute.
- Etkin, D. S. (2000, June). Worldwide analysis of marine oil spill cleanup cost factors. In *Arctic and marine oil spill program technical seminar* (Vol. 1, pp. 161-174). Environment Canada; 1999.
- Etkin, D. S. (2001). Analysis of oil spill trends in the United States and worldwide. In *International oil spill conference* (Vol. 2001, No. 2, pp. 1291-1300). American Petroleum Institute.
- Etkin, D. S. (2004, April). Modeling oil spill response and damage costs. In *Proceedings of the Fifth Biennial Freshwater Spills Symposium* (Vol. 15, p. 15).
- Etkin, D. S., Welch, J., & No, S. (2005). Oil spill response cost-effectiveness analytical tool (OSRCEAT). *Environmental Research Consulting. University of New Hampshire/National Oceanic and Atmospheric Administration Cooperative Institute for Coastal and Estuarine Environmental Technology (CICEET)*.
- Friis-Hansen, P., & Ditlevsen, O. (2003). Nature preservation acceptance model applied to tanker oil spill simulations. *Structural safety*, 25(1), 1-34.
- Grey, C. J. (1999). The cost of oil spills from tankers: an analysis of IOPC fund incidents. In *International Oil Spill Conference* (Vol. 1999, No. 1, pp. 41-47). American Petroleum Institute.
- Grigalunas, T. A., Anderson, R. C., Brown Jr, G. M., Congar, R., Meade, N. F., & Sorensen, P. E. (1986). Estimating the cost of oil spills: lessons from the Amoco Cadiz incident. *Marine Resource Economics*, 2(3), 239-262.
- Hayler, W. B., & Keever, J. M. (2003). *American Merchant Seaman's Manual: For Seamen by Seamen*. Cornell Maritime Press.

- Helton, D., & Penn, T. (1999). Putting response and natural resource damage costs in perspective. In *International Oil Spill Conference* (Vol. 1999, No. 1, pp. 577-583). American Petroleum Institute.
- Hendrickx, R. (2007). Maritime oil pollution: an empirical analysis. In *Shifts in compensation for environmental damage* (pp. 243-260). Springer, Vienna.
- Jones, D. A. (1992). *Nomenclature for hazard and risk assessment in the process industries*, IChemE.
- IOPCF, 2008. Annual report 2007. International Oil Pollution Compensation Funds, London, UK.
- IOPCF, 2009. Annual report 2008. International Oil Pollution Compensation Funds, London, UK.
- ITOPF, 2010. The International Regime for Compensation for Oil Pollution Damage. International Oil Pollution Compensation Funds, London, UK.
- ITOPF. (2011). International Tanker Owners Pollution Federation Limited.
- ITOPF. (2011a). *Effects of oil pollution on the marine environment*. International Tankers Owners Pollution Federation (ITOPF)
- ITOPF, O. T. S. S. (2016). International Tank Owners Pollution Federation Limited, 2016.
- Karakitsos, E., & Varnavides, L. (2014). *Maritime economics: A macroeconomic approach*. Springer.
- Kontovas, C. A., & Psaraftis, H. N. (2008, September). Marine environment risk assessment: A survey on the disutility cost of oil spills. In *Proceedings* (p. 2nd).
- Jacobsson, M. (2007). The International oil pollution compensation funds and the international regime of compensation for oil pollution damage. In *Pollution of the sea—prevention and compensation* (pp. 137-150). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Jernelöv, A., & Olof Lindén. (1981). Ixtoc I: A Case Study of the World's Largest Oil Spill. *Ambio*, 10(6), 299–306. <http://www.jstor.org/stable/4312725>
- Jernelöv, A. (2010). *The threats from oil spills: now, then, and in the future*. *Ambio*, 39(5), 353-366.
- Kilian, L., & Murphy, D. P. (2012). Why agnostic sign restrictions are not enough: understanding the dynamics of oil market VAR models. *Journal of the European Economic Association*, 10(5), 1166-1188.
- Kontovas, C. A., Psaraftis, H. N., & Ventikos, N. P. (2010). An empirical analysis of IOPCF oil spill cost data. *Marine pollution bulletin*, 60(9), 1455-1466.
- LAW, Robin J. (2011). The Ekofisk Bravo Blowout, 1977. In: *Oil Spill Science and Technology*. Gulf Professional Publishing. p. 1107-1108.
- Liu, X., & Wirtz, K. W. (2006). Total oil spill costs and compensations. *Maritime Policy & Management*, 33(1), 49-60.
- Liu, X., Wirtz, K. W., Kannen, A., & Kraft, D. (2009). Willingness to pay among households to prevent coastal resources from polluting by oil spills: A pilot survey. *Marine pollution bulletin*, 58(10), 1514-1521.
- Lippi, F., & Nobili, A. (2012). Oil and the macroeconomy: a quantitative structural analysis. *Journal of the European Economic Association*, 10(5), 1059-1083.

- Mearns, A. J., Reish, D. J., Oshida, P. S., Ginn, T., Rempel-Hester, M. A., Arthur, C., & Rutherford, N. (2014). *Effects of pollution marine organism*. Water Environment Research, 86(10), 1869-1954.
- Patton, J., Rigler, M., Boehm, P. *et al.* (1981). Ixtoc 1 oil spill: flaking of surface mousse in the Gulf of Mexico. *Nature* **290**, 235–238.
- Paul, T., Baskaran, D., Pakshirajan, K., Pugazhenth, G., & Rajamanickam, R. (2021). Bio-oil production by hydrothermal liquefaction of *Rhodococcus opacus* biomass utilizing refinery wastewater: Biomass valorization and process optimization. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101326.
- Psarros, G., Skjong, R., Endersen, O., & Vanem, E. (2009). A perspective on the development of Environmental Risk Acceptance Criteria related to oil spills. *Annex to International Maritime Organization document MEPC*, 59.
- Sandifer, P. A., Ferguson, A., Finucane, M. L., Partyka, M., Solo-Gabriele, H. M., Walker, A. H., ... & Yoskowitz, D. (2021). *Human health and socioeconomic effects of the Deepwater Horizon oil spill in the Gulf of Mexico*. Oceanography, 34(1), 174-191.
- Shahriari, M., & Frost, A. (2008). Oil spill cleanup cost estimation—Developing a mathematical model for marine environment. *Process Safety and Environmental Protection*, 86(3), 189-197.
- Soto, L. A., Botello, A. V., Licea-Durán, S., Lizárraga-Partida, M. L., & Yáñez-Arancibia, A. (2014). *The environmental legacy of the Ixtoc-I oil spill in Campeche Sound, southwestern Gulf of Mexico*. Frontiers in Marine Science, 1, 57.
- Speight, J. G., & El-Gendy, N. S. (2017). *Introduction to petroleum biotechnology*. Gulf Professional Publishing.
- Spies, R. B., Mukhtasor, M., & Burns, K. A. (2017). *The mantara oil spill: a 2009 well blowout in the Timor Sea*. Archives of environmental contamination and toxicology, 73(1), 55-62.
- Stefanski, R. (2014). Structural transformation and the oil price. *Review of Economic Dynamics*, 17(3), 484-504.
- Thébaud, B., Ladha, F., Michelakis, E. D., Sawicka, M., Thurston, G., Eaton, F., ... & Archer, S. L. (2005). Vascular endothelial growth factor gene therapy increases survival, promotes lung angiogenesis, and prevents alveolar damage in hyperoxia-induced lung injury: evidence that angiogenesis participates in alveolarization. *Circulation*, 112(16), 2477-2486.
- US Energy Information Administration (Ed.). (2011). *Annual Energy Outlook 2011: With Projections to 2035*. Government Printing Office.
- Weil, P. (1989). The equity premium puzzle and the risk-free rate puzzle. *Journal of monetary economics*, 24(3), 401-421.
- White, I. C., & C. Molloy, F. (2003). Factors that determine the cost of oil spills. In *International oil spill conference* (Vol. 2003, No. 1, pp. 1225-1229). American Petroleum Institute.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Greenpeace (2007), "Οι σημαντικότερες πετρελαιοκηλίδες στην Ελλάδα"



Ζαχαρίου, Α. Α. (2009). Ρυθμιστικό πλαίσιο και εναλλακτικές πολιτικές περιβαλλοντικής προστασίας και βιωσιμότητας, όπως απορρέει από το γενικό Διεθνές Δίκαιο, το Δίκαιο της Θάλασσας και την Κοινοτική νομοθεσία και πολιτική (Master's thesis).

Τριανταφύλλου Γ., Βεργέτης Μ. (2004) "Περιβάλλον & Ανάπτυξη - Ενότητα: Πετρελαιοκηλίδες.", Αθήνα

Διαδικτυακή βιβλιογραφία

<https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/economic-effects/>

<https://medlabgr.blogspot.com/2017/09/Oil-in-the-Sea.html#gsc.tab=0>

<https://www.maxmag.gr/soma-igia/epiptosis-mias-petroleokilidas-stin-ygia-ke-ti-lene-armodii/>

<https://www.amazonfrontlines.org/chronicles/health-oil/>

<https://www.eea.europa.eu/el/articles/thalassio-periballon>

<https://wwz.cedre.fr/en/Resources/Spills/Spills/Nowruz>

<https://incidentnews.noaa.gov/incident/6256>

<https://www.britannica.com/science/oil-spill>. Accessed 3 February 2022.

https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-7-2010-4271_EL.html

<https://ypotheto.wordpress.com/2010/09/02/εκρηξη-σε-εξεδρα-αντλησησ-πετρελαιου/>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3357709/>

https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_GR/SEM2V4SRJHG_0.html

<https://www.lifo.gr/san-simera/exxon-valdez-i-proti-asyllipti-thalassia-katastrofi-stin-ameriki>

<https://www.medicalmagazine.gr/i-epiptosis-mias-petroleokilidas-stin-anthropini-ygia/>

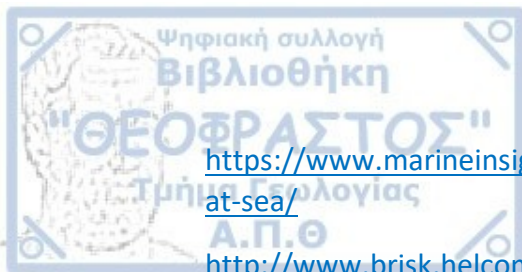
<https://www.vice.com/el/article/gvppxq/pente-xronia-diarroi-petrelaiou-bp-ta-zwa-pethainoun-ston-kolpo-tou-mexikou>

https://www.alfavita.gr/kosmos/232030_diarroi-petrelaiou-aytes-einai-oi-megalyteres-katastrofes-poy-ehoy-n-simeiothei

<https://ourworldindata.org/oil-spills>

<https://www.lawinsider.com/dictionary/marine-environment>

<https://sites.google.com/site/einaizetemaenergeias/me-ana/petrelaio>



<https://www.marineinsight.com/environment/10-methods-for-oil-spill-cleanup-at-sea/>

http://www.brisk.helcom.fi/risk_analysis/spills/en_GB/spills/

Παράρτημα Ι: Πίνακες μοντέλου EPA BOSCEM

Πίνακας 1: Κόστος απόκρισης πετρελαιοκηλίδας ανά γαλόνι (Applied in EPA BOSCEM)									
Oil Type	Volume (gallons)	Mechanical				Dispersants		In-Situ Burn	
		0%	10%	20%	50%	Low	High	50%	80%
Light Fuels	<500	\$100	\$85	\$70	\$57	\$36	\$25	\$26	\$13
	500 – 1,000	\$98	\$83	\$68	\$55	\$35	\$24	\$25	\$12
	1,000 – 10,000	\$97	\$82	\$67	\$54	\$34	\$23	\$24	\$11
	10,000 – 100,000	\$87	\$72	\$59	\$41	\$26	\$18	\$18	\$9
	100,000 – 1,000,000	\$74	\$62	\$49	\$26	\$17	\$10	\$10	\$5
	>1,000,000	\$31	\$26	\$17	\$12	\$11	\$6	\$7	\$3
Heavy Oils	<500	\$440	\$386	\$335	\$310	\$140	\$89	\$125	\$64
	500 – 1,000	\$438	\$385	\$334	\$309	\$139	\$88	\$124	\$63
	1,000 – 10,000	\$436	\$384	\$333	\$308	\$138	\$87	\$123	\$62
	10,000 – 100,000	\$410	\$359	\$308	\$267	\$103	\$62	\$103	\$51
	100,000 – 1,000,000	\$179	\$154	\$128	\$103	\$59	\$54	\$72	\$41
	>1,000,000	\$87	\$77	\$67	\$36	\$53	\$49	\$56	\$26
Crude Oil	<500	\$220	\$199	\$189	\$153	\$85	\$53	\$75	\$48
	500 – 1,000	\$218	\$197	\$187	\$151	\$84	\$52	\$74	\$47
	1,000 – 10,000	\$215	\$195	\$185	\$149	\$82	\$51	\$72	\$46
	10,000 – 100,000	\$195	\$185	\$174	\$138	\$74	\$31	\$62	\$31
	100,000 – 1,000,000	\$123	\$118	\$113	\$92	\$49	\$29	\$36	\$16
	>1,000,000	\$92	\$82	\$76	\$64	\$58	\$13	\$22	\$11
Volatile Distillates	<500	--	\$103	--	--	--	--	--	--
	500 – 1,000	--	\$102	--	--	--	--	--	--
	1,000 – 10,000	--	\$100	--	--	--	--	--	--
	10,000 – 100,000	--	\$55	--	--	--	--	--	--
	100,000 – 1,000,000	--	\$23	--	--	--	--	--	--
	>1,000,000	--	\$7	--	--	--	--	--	--

Etkin, Damage Cost Modeling, 2004

Πίνακας 2: Κοινωνικό - οικονομικό κόστος ανά γαλόνι (For use in EPA BOSCEM)			
Oil Type	Volume (gallons)	Base Cost (\$/gallon)	
		Socioeconomic	Environmental
Volatile Distillates	<500	\$65	\$48
	500 – 1,000	\$265	\$45
	1,000 – 10,000	\$400	\$35
	10,000 – 100,000	\$180	\$30
	100,000 – 1,000,000	\$90	\$15
	>1,000,000	\$70	\$10
Light Fuels	<500	\$80	\$85
	500 – 1,000	\$330	\$80
	1,000 – 10,000	\$500	\$70
	10,000 – 100,000	\$200	\$65
	100,000 – 1,000,000	\$100	\$30
	>1,000,000	\$90	\$25
Heavy Oils	<500	\$150	\$95
	500 – 1,000	\$600	\$90
	1,000 – 10,000	\$900	\$85
	10,000 – 100,000	\$500	\$75
	100,000 – 1,000,000	\$200	\$40
	>1,000,000	\$175	\$35
Crudes	<500	\$50	\$90
	500 – 1,000	\$200	\$87
	1,000 – 10,000	\$300	\$80
	10,000 – 100,000	\$140	\$73
	100,000 – 1,000,000	\$70	\$35
	>1,000,000	\$60	\$30

Etkin, Damage Cost Modeling, 2004

Πίνακας 3: Περιβαλλοντικό κόστος ανά γαλόνι (For use in EPA BOSCEM)		
Oil Type	Volume (gallons)	Base Environmental Cost (\$/gallon)
Volatile Distillates	<500	\$48
	500 – 1,000	\$45
	1,000 – 10,000	\$35
	10,000 – 100,000	\$30
	100,000 – 1,000,000	\$15
	>1,000,000	\$10
Light Fuels	<500	\$85
	500 – 1,000	\$80
	1,000 – 10,000	\$70
	10,000 – 100,000	\$65
	100,000 – 1,000,000	\$30
	>1,000,000	\$25
Heavy Oils	<500	\$95
	500 – 1,000	\$90
	1,000 – 10,000	\$85
	10,000 – 100,000	\$75
	100,000 – 1,000,000	\$40
	>1,000,000	\$35
Crudes	<500	\$90
	500 – 1,000	\$87
	1,000 – 10,000	\$80
	10,000 – 100,000	\$73
	100,000 – 1,000,000	\$35
	>1,000,000	\$30

Etkin, Damage Cost Modeling, 2004

Πίνακας 4: Τροποποιητές κόστους απόκρισης τοποθεσίας για κατηγορίες μεσαίου τύπου (EPA BOSCEM)	
Category	Cost Modifier Value
Open Water/Shore	1.0
Soil/Sand	0.6
Pavement/Rock	0.6
Wetland	1.6
Mudflat	1.4
Grassland	0.7
Forest	0.8
Taiga	0.9
Tundra	1.3

Etkin, Damage Cost Modeling, 2004

Πίνακας 5: Συντελεστής κοινωνικό – οικονομικής και πολιτιστικής κατάταξης			
Value Rank	Spill Impact Site(s) Description	Examples	Cost Modifier Value
Extreme	Predominated by areas with high socioeconomic value that may potentially experience a large degree of <i>long – term</i> ² impact if oiled.	Subsistence/ commercial fishing, aquaculture areas	2.0
Very High	Predominated by areas with high socioeconomic value that may potentially experience some <i>long – term</i> ² impact if oiled.	National park/reserves for ecotourism/nature viewing; historic areas	1.7
High	Predominated by areas with medium socioeconomic value that may potentially experience some <i>long – term</i> ² impact if oiled.	Recreational areas, sport fishing, farm/ranchland	1.0
Moderate	Predominated by areas with medium socioeconomic value that may potentially experience short - <i>term</i> ² impact if oiling occurs	Residential areas; urban/suburban parks; roadsides	0.7
Minimal	Predominated by areas with a small amount of socioeconomic value that may potentially experience short - <i>term</i> ² impact if oiled.	Light industrial areas; commercial zones; urban areas	0.3
None	Predominated by areas already moderately to highly polluted or contaminated or of little socioeconomic or cultural import that would experience little short - or long - term impact if oiled.	Heavy industrial areas; designated dump sites	0.1

Etkin, Damage Cost Modeling, 2004

Πίνακας 6: Συντελεστής απόκρισης και Παράγοντες Προσαρμογής Αποτελεσματικότητας		
Response Method	Oil Removal Effectiveness	Adjustment Factor
Mechanical Recovery	0%	1.15
	10%	1.00
	20%	0.85
	50%	0.55
Dispersants	Light Oils/Crude/Light Fuels Low (40%) ²	0.45
	Heavy Oils Low (35%) ²	0.40
	Light Oils/Crude/Light Fuels High (80%) ²	0.25
	Heavy Oils High (70%) ²	0.35
In Situ Burning	50%	0.55
	80%	0.25

Etkin, Damage Cost Modeling, 2004

Πίνακας 7: Συντελεστής ευπάθειας νερού	
Category	Cost Modifier Value
Wildlife Use	1.7
Drinking	1.6
Recreation	1.0
Industrial	0.4
Tributaries to Drinking/Recreation	1.2
Non – Specific	0.9

Etkin, Damage Cost Modeling, 2004

Πίνακας 8: Συντελεστής ευαισθησίας της χλωρίδας και της πανίδας ανά περιοχή	
Category	Cost Modifier Value
Urban/Industrial	0.4
Roadside/Suburb	0.7
River/Stream	1.5
Wetland	4.0
Agricultural	2.2
Dry Grassland	0.5
Lake/Pond	3.8
Estuary	1.2
Forest	2.9
Taiga	3.0
Tundra	2.5
Other Sensitive	3.2

Etkin, Damage Cost Modeling, 2004

Παράρτημα II: Πίνακες μοντέλου OSRCEAT

OSRCEAT

Πίνακας 1: Εκτιμώμενη αποτελεσματικότητα απόκρισης ακτογραμμής																
Response	Αποτελεσματικότητα απόκρισης ανά τύπο ακτογραμμής (ESI)															
	1A	2	3	4	5	6A	6B	7	8A	8B	9	10A	10B	10C	10D	
Natural	H	H	L	L	L	M	H	M	M	M	L	L	L	L	L	
Manual	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
Mechanical	NA	NA	M	M	M	M	L	L	M	L	M	M	M	M	M	
Sorbent	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
Sediment Rework	NA	NA	M	M	M	M	L	M	NA	NA	L	L	L	L	L	
Remove Vegetation	NA	NA	NA	NA	NA	NA	L	L	NA	NA	M	M	M	M	M	
Burn	L	L	L	L	L	L	L	M	L	L	M	M	M	M	M	
Flood	M	M	M	M	M	M	M	L	M	M	L	L	L	L	L	
Low Cold Wash	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	L	L	L	L	L	
High Cold Wash	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	L	L	L	L	L	
Low Hot Wash	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L	
High Hot Wash	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L	
Steam	H	H	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	
Sanding	M	M	M	L	L	L	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
Agents	M	M	L	L	L	L	L	L	M	M	L	L	L	L	L	
Bio-Remediation	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
NA = "not applicable" or "not advisable". H = 80%; M = 50%; L = 10%																

Πηγή: Artic και Marine, 2005

Πίνακας 2: Εκτιμώμενη τιμή απόκρισης ακτογραμμής

Response	Αποτελεσματικότητα απόκρισης ανά τύπο ακτογραμμής (ESI)														
	1A	2	3	4	5	6A	6B	7	8A	8B	9	10A	10B	10C	10D
Natural	H	H	L	L	L	M	H	M	M	M	L	L	L	L	L
Manual	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Mechanical	NA	NA	M	M	M	M	L	L	M	L	M	M	M	M	M
Sorbent	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
Sediment Rework	NA	NA	M	M	M	M	L	M	NA	NA	L	L	L	L	L
Remove Vegetation	NA	NA	NA	NA	NA	NA	L	L	NA	NA	M	M	M	M	M
Burn	L	L	L	L	L	L	L	M	L	L	M	M	M	M	M
Flood	M	M	M	M	M	M	M	L	M	M	L	L	L	L	L
Low Cold Wash	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	L	L	L	L	L
High Cold Wash	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	L	L	L	L	L
Low Hot Wash	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L
High Hot Wash	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L
Steam	H	H	L	L	L	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L
Sanding	M	M	M	L	L	L	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Agents	M	M	L	L	L	L	L	L	M	M	L	L	L	L	L
Bioremediation	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L

NA = "not applicable" or "not advisable"

Πηγή: Artic και Marine, 2005

Πίνακας 3: Συντελεστές μετατροπής κοινωνικοοικονομικών πόρων στο νερό	
Κοινωνικοοικονομικοί πόροι στο νερό	Συντελεστής μετατροπής
Fisheries	2.9
Ports	2.4
Boating	1.0
Water Intake	1.4
Drink Water	2.9
Rec Fishing	1.4
Other High Use	1.4
Low Use	0.4

Πηγή: Artic και Marine, 2005

Πίνακας 4: Συντελεστής μετατροπής για φυσικούς πόρους στο νερό

Φυσικοί πόροι στο νερό	Συντελεστής μετατροπής
Fish	2.5
Mammals	3.0
Other High	4.0
Birds	4.5
Coral Reef	3.5
Low	1.0

Πηγή: Artic και Marine, 2005

Πίνακας 5: Πρόσθετο κόστος ανά γαλόνι (Ανά τύπο πετρελαίου και απόκρισης)

Oil Type	Τύπος απόκρισης (κόστος σε δολάρια)			
	No Response	Mechanical	Burn	Dispersant
Medium Crude	0	\$28	\$23	\$24
Gasoline	0	\$12	NA1	NA2
Jet Fuel	0	\$12	NA3	NA4
Diesel	0	\$15	\$13	\$14
Lt Crude	0	\$23	\$18	\$19
Hvy Crude	0	\$36	\$29	\$30
No. 6 Fuel	0	\$37	\$30	\$31
IFO	0	\$28	\$28	\$24
Lube Oil	0	\$26	\$21	\$22

Πηγή: Artic και Marine, 2005

Πίνακας 6: Παράγοντες κόστους Heavy Crude παράκτιου πετρελαίου						
Shoreline Type (ESI)	Coverage*	\$/m ²				
		Pooled	Cover	Coat	Stain	Film
1a: Exposed Rocky		\$318	\$118	\$30	\$13	\$6
2: Rocky Platform		\$318	\$118	\$30	\$13	\$6
3: Fine Sand		\$318	\$118	\$30	\$13	\$6
4: Coarse Sand		\$318	\$118	\$30	\$13	\$6
5: Mixed Sand/Gravel		\$386	\$143	\$36	\$15	\$8
6a: Gravel Beach		\$386	\$143	\$36	\$15	\$8
6b: Riprap Structures		\$386	\$143	\$36	\$15	\$8
7: Exposed Tidal Flat		\$518	\$192	\$48	\$21	\$10
8a: Sheltered Rocky Shore		\$318	\$118	\$30	\$13	\$6
8b: Sheltered Solid		\$250	\$93	\$23	\$10	\$5
9: Sheltered Tidal Flat		\$518	\$192	\$48	\$21	\$10
10a: Salt/Brackish Marsh		\$518	\$192	\$48	\$21	\$10
10b: Freshwater Marsh		\$518	\$192	\$48	\$21	\$10
10c: Swamp		\$518	\$192	\$48	\$21	\$10
10d: Mangrove		\$518	\$192	\$48	\$21	\$10
*Oil coverage for each shoreline: C = continuous, B = broken, P = patchy, and S = sporadic						

Πηγή: Artic και Marine, 2005

Πίνακας 7: Συντελεστές μετατροπής κοινωνικοοικονομικών πόρων παράκτιας γραμμής	
Κοινωνικοοικονομικός πόρος παράκτιας γραμμής	Συντελεστής μετατροπής
Tourist Beach	1.4
Wildlife Viewing	2.4
Industrial	0.1
Port	0.4
Residential	1.0
High Value	2.9
Medium Value	1.0
Low Value	0.4

Πηγή: Artic και Marine, 2005

Πίνακας 8 Συντελεστές φυσικών πόρων ακτογραμμής	
Φυσικός πόρος ακτογραμμής	Συντελεστής μετατροπής
Birds	4.0
Mammals	2.7
Endangered Species	5.0
Highly Sensitive	4.0
Moderate Sensitive	2.0
Low Sensitive	0.3

Πηγή: *Artic και Marine, 2005*