



**01/06/2020**

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ**

**Οδυσσέας Ιωάννης Ιωαννίδης  
Αριθμός μητρώου : 08110032**

**Επιβλέπων : Δρ. Βεντικός Νικόλαος – Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.**



**[ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ  
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΥΧΗΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΗΛΙΔΩΝ]**

Copyright © Οδυσσέας Ιωάννης Ιωαννίδης, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Η πετρελαϊκή ρύπανση που προκύπτει από ναυτικά ατυχήματα και δραστηριότητες των πλοίων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που απειλούν την ισορροπία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Είναι δεδομένο ότι όσο διεξάγονται μετακινήσεις, μεταφορές αγαθών και άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες στη θάλασσα, θα προκύπτουν περιπτώσεις διαρροής πετρελαίου. Κατά συνέπεια κρίνεται αναγκαία η ανάπτυξη εργαλείων τα οποία επιτρέπουν την πρόβλεψη της κίνησης και των μεταβολών των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του πετρελαίου στη θάλασσα ώστε να είναι δυνατή η αντιμετώπιση και η αποφυγή των δυσμενών για το περιβάλλον συνεπειών.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αναβάθμιση των προϋπάρχοντων προγραμμάτων SpillSolver και SpillSolver 2.0, οποία έχουν αναπτυχθεί στα πλαίσια διπλωματικών εργασιών από τους Κορρό Κωνσταντίνο (2008) και Παρίσο Φώτιο (2015) αντίστοιχα. Τα προγράμματα αυτά πραγματοποιούν υπολογισμούς και εξάγουν αποτελέσματα σχετικά με τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που υπόκειται το πετρέλαιο μετά τη διαρροή του στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ο κύριος στόχος ήταν η προσθήκη σε αυτά της δυνατότητας γραφικής απεικόνισης της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη, η αναβάθμιση της γραφικής διεπαφής χρήστη και προγράμματος και τελικά η δημιουργία μίας ολοκληρωμένης λειτουργικής εφαρμογής, η οποία στο μέλλον θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα χρήσιμο εργαλείο για τη μελέτη και την ανάλυση πετρελαιοκηλίδων σε μία πληθώρα περιπτώσεων.

Η εφαρμογή που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής ονομάζεται SpillSolver App. Λαμβάνει σαν είσοδο από τον χρήστη δεδομένα που αφορούν την διαρροή και τον τύπο του πετρελαίου που διαρρέει καθώς και δεδομένα που αφορούν στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια η εφαρμογή πραγματοποιεί υπολογισμούς και εξάγει αριθμητικά αποτελέσματα, διαγράμματα και γραφική απεικόνιση. Τα αποτελέσματα αυτά περιγράφουν την συμπεριφορά και τις ιδιότητες της πετρελαιοκηλίδας μέχρι και πέντε μέρες μετά την αρχική διαρροή.

Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας της εφαρμογής που αναπτύχθηκε, έγινε εφαρμογή διαφορετικών σεναρίων διαρροής, με διαφορετικές παραμέτρους εισόδου για το καθένα από αυτά και στη συνέχεια έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων του κάθε σεναρίου με τα αντίστοιχα που προέκυψαν από άλλα προγράμματα, για τα ίδια σεναρία, ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την ορθότητα των τελικών τιμών των αποτελεσμάτων.

Επιπρόσθετα έγινε μία σύντομη ανάλυση ευαισθησίας της εφαρμογής ώστε να διαπιστωθεί, η ορθή εφαρμογή των μαθηματικών σχέσεων που περιγράφουν τις διαδικασίες γήρανσης και ο τρόπος με τον οποίο η μεταβολή των παραμέτρων διαρροής και των συνθηκών του περιβάλλοντος επηρεάζει την συμπεριφορά του πετρελαίου στη θάλασσα.

Τέλος στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εξάγονται συμπεράσματα σχετικά τον τρόπο λειτουργίας του SpillSolver App και γίνονται προτάσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση της εφαρμογής.

## **Abstract**

Oil pollution deriving from naval accidents and maritime activity constitutes a major factor that threatens the equilibrium of the marine environment. It is an undeniable fact, that as long as marine activities and transportations of passengers and merchandise occur, cases of oil leakage cannot be averted. Consequently, the study of oil behavior and the resulting consequences, after it has leaked in the sea, is of great importance.

Subject of this present study is the upgrade of the existing programs SpillSolver and SpillSolver 2.0 which were developed by Korros Konstantinos (2008) and Parisos Fotios (2015). These programs conduct calculations and export results regarding the physical, chemical and biological processes which the oil is subjected to, after it's leakage in the marine environment. The main goal was the addition of the capability of graphical depiction of the surface of an oil spill on a map, the upgrade of the user interface and eventually the development of a complete, functional application, which in the future could be used as a useful tool for the study and analysis of oil spill incidents in a variety of cases.

The application developed in this study is called SpillSolver App. The user inputs data regarding the leakage, the oil type and the environmental conditions in the time and area of the oil spill. Then, it conducts calculations and provides results, graphs and map representation. These results describe the behaviour and properties of the oil spill within five days from the initial leakage.

In order to confirm the reliability of the developed app, various leakage scenarios were applied, with different input variables. The results provided from the SpillSolver App, were compared accordingly with results extracted from other, previously developed programs. This comparison produces conclusions about the validity of the application's results.

In addition, a sensitivity analysis was conducted in order to define the correct application of the equations describing the weathering processes and the relation amongst the input parameters and the behavior of the spilled oil at sea.

Finally, conclusions are extracted regarding the function of the SpillSolver App and suggestions are made about the further development and enhancement of the application.



# Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 .....	1
Σύσταση, ιδιότητες και διεργασίες γήρανσης του πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον .....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Σύσταση του Πετρελαίου.....	2
1.3 Ιδιότητες του Πετρελαίου .....	3
1.4 Επιπτώσεις της διαρροής Πετρελαίου.....	4
1.4.1 Επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς.....	4
1.4.2 Κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία.....	5
1.4.3 Επιδράσεις στις εμπορικές δραστηριότητες .....	5
1.5 Φυσικοχημικές Μεταβολές .....	6
1.5.1 Μετατόπιση (Advection-Drifting): .....	6
1.5.2 Εξάπλωση (Spreading): .....	6
1.5.3 Εξάτμιση (Evaporation):.....	7
1.5.4 Διασπορά (Dispersion):.....	7
1.5.5 Διάλυση (Dissolution): .....	7
1.5.6 Γαλακτωματοποίηση (Emulsification): .....	7
1.5.7 Φωτο-Οξειδωση (Oxidation):.....	8
1.5.8 Ιζηματοποίηση και βύθιση (sedimentation and sinking): .....	8
1.5.9 Αύξηση του ιξώδους του πετρελαίου:.....	8
1.5.10 Αύξηση της πυκνότητας του πετρελαίου: .....	8
Κεφάλαιο 2 .....	10
Περιγραφή και Παρουσίαση της εφαρμογής SpillSolver App.....	10
2.1 Εισαγωγή.....	10
2.2 Πρόβλεψη κίνησης και μεταβολής φυσικοχημικών ιδιοτήτων πετρελαιοκηλίδας με το Spillsolver App.....	12
2.3 Περιγραφή και χρήση του SpillSolver App .....	18
Κεφάλαιο 3 .....	34
Σύγκριση με άλλα προγράμματα και αξιολόγηση της εφαρμογής.....	34
3.1 Εισαγωγή.....	34
3.2 Σενάριο 1 <sup>ο</sup> .....	35
3.3 Σενάριο 2 <sup>ο</sup> .....	52

3.4 Σενάριο 3 <sup>ο</sup> .....	67
3.5 Σενάριο 4 <sup>ο</sup> .....	79
3.6 Σενάριο 5 <sup>ο</sup> .....	93
3.7 Σενάριο 6 <sup>ο</sup> .....	108
3.8 Σύγκριση και Σχολιασμός Σεναρίων .....	122
3.8.1 Σενάριο 2.....	124
3.8.2 Σενάριο 3.....	125
3.8.3 Σενάριο 4 :.....	126
3.8.4 Σενάριο 5.....	128
3.8.5 Σενάριο 6.....	129
3.8.6 Σχολιασμός.....	131
Κεφάλαιο 4 .....	133
Ανάλυση ευαισθησίας της εφαρμογής SpillSolver App .....	133
4.1 Εισαγωγή.....	133
4.2 Ανάλυση ευαισθησίας .....	134
4.2.1 Μεταβολή του τύπου πετρελαίου.....	134
4.2.2 Μεταβολή της ταχύτητας του αέρα .....	141
4.2.3 Μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού της θάλασσας .....	145
4.2.4 Μεταβολή της ταχύτητας του θαλάσσιου ρεύματος .....	149
4.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	150
Κεφάλαιο 5 .....	151
5.1 Συμπεράσματα.....	151
5.2 Δυνατότητες μελλοντικών επεκτάσεων .....	152
Βιβλιογραφία .....	153
Παράρτημα Α : .....	156
Γλώσσες προγραμματισμού και βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του SpillSolver App.....	156
Παράρτημα Β : .....	160
Μετατροπή Μονάδων .....	160



# Κεφάλαιο 1

## Σύσταση, ιδιότητες και διεργασίες γήρανσης του πετρελαίου στο θαλάσσιο περιβάλλον

### 1.1 Εισαγωγή

Οι συνήθεις λειτουργίες αλλά και τα ατυχήματα πλοίων και παράκτιων εγκαταστάσεων έχουν ως αποτέλεσμα, κάθε χρόνο, πολλαπλές περιπτώσεις έγχυσης πετρελαίου στη θάλασσα. Τα συστατικά του πετρελαίου είναι τοξικά στους θαλάσσιους οργανισμούς και απειλούν τόσο το εκάστοτε οικοσύστημα με το οποίο έρχονται σε επαφή όσο και τις οικονομικές δραστηριότητες της παράκτιας ζώνης. Μετά την είσοδο του στο νερό το πετρέλαιο υφίσταται μία πληθώρα φυσικών, χημικών και βιολογικών μεταβολών, οι οποίες τροποποιούν τις ιδιότητες του, από τη στιγμή εισόδου του και για όσο αυτό παραμένει εκεί. (Clark 2003, Ventikos 2006)

Στην εργασία αυτή γίνεται μία απόπειρα ολοκληρωμένης περιγραφής της συμπεριφοράς του πετρελαίου αφού αυτό εισέλθει στη θάλασσα. Αρχικά αναφέρονται με σχετικά απλό αλλά επιστημονικό τρόπο οι βασικές ιδιότητες του πετρελαίου και ορισμένες από τις επιπτώσεις της πετρελαϊκής ρύπανσης. Έπειτα περιγράφονται συνοπτικά οι κυριότερες διεργασίες που επηρεάζουν την σύσταση και τις ιδιότητες του πετρελαίου μετά τη διαρροή του στη θάλασσα. Στόχος των παραπάνω είναι η επαφή του αναγνώστη με το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο.

Ακολουθεί η παρουσίαση του SpillSolverApp, ενός προγράμματος που αναπτύχθηκε βασισμένο στα προϋπάρχοντα SpillSolver (Κορρός 2008) και SpillSolver2.0 (Παρίσος 2015), και το οποίο επιτρέπει στο χρήστη να μελετά τη συμπεριφορά πετρελαιοκηλίδων και λειτουργεί με τη μορφή διαδικτυακής εφαρμογής (Web App). Η εφαρμογή λαμβάνει σαν είσοδο διάφορες παραμέτρους που αφορούν τις συνθήκες της διαρροής και του περιβάλλοντος και στη συνέχεια, με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων τα οποία περιγράφουν τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες, διεξάγει υπολογισμούς και εξαγεί αποτελέσματα τα οποία περιγράφουν τις τελικές ιδιότητες της πετρελαιοκηλίδας έως και πέντε μέρες μετά την αρχική διαρροή.

Στη συνέχεια γίνεται εφαρμογή στο SpillSolver App διαφορετικών σεναρίων διαρροής. Σε κάθε σενάριο διαφοροποιούνται κάποιες από τις παραμέτρους εισόδου. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή για το κάθε σενάριο συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προκύπτουν από άλλα προγράμματα, ώστε να γίνει έλεγχος της ορθότητας των αποτελεσμάτων της εφαρμογής μας. Επιπρόσθετα συγκρίνονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το SpillSolver App για το κάθε σενάριο με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των άλλων σεναρίων με στόχο να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με το πως μεταβάλλεται η πρόβλεψη της συμπεριφοράς του πετρελαίου στη θάλασσα, όταν μεταβάλλονται κάποιες από τις παραμέτρους εισόδου του προγράμματος.

Μετά την παρουσίαση του προγράμματος και των σεναρίων διαρροής ακολουθούν δύο ενότητες. Στην πρώτη εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τη λειτουργία και τα αποτελέσματα του προγράμματος ενώ στη δεύτερη αναφέρονται οι δυνατότητες περαιτέρω ανάπτυξης και βελτίωσης της λειτουργίας της εφαρμογής.

## 1.2 Σύσταση του Πετρελαίου

Στη διεθνή ορολογία με τον όρο **πετρέλαιο (oil)** αναφερόμαστε στο σύνολο των πετρελαϊκών υδρογονανθράκων, δηλαδή σε όλους τους ακατέργαστους υδρογονάνθρακες και τα κατεργασμένα προϊόντα που παράγονται από τη διύλιση τους. (Κοτρίκλα, Άννα-Μαρία 2015)

Το **αργό (ακατέργαστο) πετρέλαιο (crude oil)** είναι ένα σκούρο υγρό μίγμα υδρογονανθράκων μεγάλου ιξώδους, μέσα στο οποίο περιέχονται διακόσες με τριακόσες διαφορετικές χημικές ενώσεις. Από αυτές τις ενώσεις το 75-98 % είναι υδρογονάνθρακες (περίπου 84 % άνθρακας και 14 % υδρογόνο για το μέσο αργό πετρέλαιο) και μπορεί να περιέχει και άλλες ενώσεις όπως: μέταλλα όπως π.χ. βανάδιο και νικέλιο, θείο, χλωριούχο νάτριο, άζωτο, οξυγόνο, υπολείμματα πυριτίου. Οι κυριότερες κατηγορίες υδρογονανθράκων που περιέχονται στο πετρέλαιο είναι (Clark, 2003):

**Αλκάνια** (Παραφίνες): Τα αλκάνια ανήκουν στους κορεσμένους υδρογονάνθρακες και αποτελούν άκυκλους υδρογονάνθρακες των οποίων τα άτομα άνθρακα συνδέονται με απλούς δεσμούς. Ενώσεις με 1 έως τέσσερα άτομα άνθρακα είναι αέριες, με 5 έως 16 υγρές ενώ με περισσότερα από 17 άτομα στερεές. Τα αλκάνια είναι σχετικά μη τοξικές ενώσεις και όσο μικρότερος ο αριθμός των ατόμων άνθρακα σε αυτές είναι πιο πτητικές και ευδιάλυτες στο νερό.

**Κυκλοαλκάνια:** Τα κυκλοαλκάνια είναι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες (τα άτομα άνθρακα συνδέονται με απλούς δεσμούς) στον οποίων τα μόρια εμφανίζονται κυκλικές αλυσίδες. Τα κυκλοαλκάνια με 5-6 άτομα άνθρακα αποτελούν το 30-60 % του πετρελαίου.

**Αρωματικές ενώσεις:** Οι αρωματικές ενώσεις αποτελούν πτητικές ενώσεις που περιέχουν δακτυλίους βενζολίου και αποτελούν το 2-4 % του πετρελαίου.

### 1.3 Ιδιότητες του Πετρελαίου

Οι ιδιότητες του αργού πετρελαίου που επηρεάζουν τη συμπεριφορά του στο περιβάλλον είναι (Clark, 2003, Κοτρίκλα, Άννα-Μαρία, 2015):

**Πυκνότητα:** Η πυκνότητα του πετρελαίου μεταβάλλεται ανάλογα με την ακριβή του σύσταση και σε συνήθεις θερμοκρασίες κυμαίνεται από περίπου  $0,7 \text{ g/cm}^3$  ( $= 0,7 \text{ kg/l}$ ), για ελαφρύ αργό πετρέλαιο έως τιμές λίγο μεγαλύτερες του  $1 \text{ g/cm}^3$  ( $= 1 \text{ kg/l}$ ) για βαριά πετρέλαια. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τυπική πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι περίπου  $1,025\text{-}1,027 \text{ g/cm}^3$ , καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το αργό πετρέλαιο είναι σε γενικές γραμμές ελαφρύτερο από το θαλασσινό νερό.

**Πτητικότητα:** Η πτητικότητα ενός πετρελαίου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά διύλισής του. Η διύλιση είναι η διαδικασία κλασματικής απόσταξης κατά την οποία το αργό πετρέλαιο θερμαίνεται μέχρις ότου τα διάφορα κλάσματά του να φτάσουν στο σημείο βρασμού τους, να εξατμιστούν και κατόπιν να ψυχθούν και να συμπυκνωθούν ξεχωριστά και κατ' αυτόν τον τρόπο να διαχωριστούν.

**Ιξώδες:** Το ιξώδες ενός πετρελαίου αποτελεί μέτρο της αντίστασής του στη ροή. Πετρέλαια με χαμηλότερο ιξώδες εμφανίζουν μεγαλύτερη ρευστότητα. Το ιξώδες αυξάνεται όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία (National Research Council, 2003).

**Σημείο Ροής :** Το σημείο ροής είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία υπό την οποία εξακολουθεί να ρέει το πετρέλαιο. Εξαρτάται από το περιεχόμενό του σε ασφαλτένια και κηρούς.

**Διαλυτότητα στο νερό:** Η διαλυτότητα του αργού πετρελαίου στο θαλασσινό νερό είναι πολύ μικρή, και εξαρτάται από τη σύσταση του πετρελαίου (τα βαριά πετρέλαια είναι πιο δυσδιάλυτα), από τη θερμοκρασία, την αλατότητα και τις λοιπές ιδιότητες του νερού.

## 1.4 Επιπτώσεις της διαρροής Πετρελαίου

### 1.4.1 Επιπτώσεις στους θαλάσσιους οργανισμούς

Η τοξικότητα του πετρελαίου εξαρτάται από τη χημική δομή των συστατικών του : τοξικότητα αλκανίων < τοξικότητα κυκλικών υδρογονανθράκων < τοξικότητα αρωματικών υδρογονανθράκων. Για δύο ενώσεις που έχουν την ίδια χημική δομή, θα είναι τοξικότερη αυτή που περιέχει κλάσματα μικρού μοριακού βάρους. Τα κλάσματα μικρού μοριακού βάρους (υδρογονάνθρακες με λιγότερα από 15 άτομα άνθρακα) ωστόσο, εξατμίζονται τις πρώτες μέρες ή ώρες ενός ατυχήματος και για τον λόγο αυτό η τοξικότητα του πετρελαίου που έχει εκχυθεί στη θάλασσα μειώνεται με τον χρόνο (Clark, 2003).

Το πετρέλαιο επιδρά στην αναπαραγωγή, την ανάπτυξη, και τη συμπεριφορά των οργανισμών. Τα ενήλικα ψάρια έχουν την ικανότητα να αποφεύγουν τις τοποθεσίες που έχουν μολυνθεί αλλά τα αυγά και οι προνύμφες τους είναι ευάλωτα στην πετρελαϊκή ρύπανση (Clark, 2003).

Το πετρέλαιο έχει μεγαλύτερες επιβλαβείς επιπτώσεις στους οργανισμούς που διαβιούν σε ρηχά νερά με κινητά (αμμώδη) υποστρώματα και η βλάβη μπορεί να διαρκέσει για χρόνια. Αυτό συμβαίνει διότι το πετρέλαιο με τη μορφή ιζήματος παγιδεύεται στον πυθμένα, με αποτέλεσμα να παραμένει εκεί ανέπαφο, λόγω της απουσίας οξυγόνου και φωτός. Σε τέτοιες περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί σημαντική μείωση των πληθυσμών βενθικών ειδών (καβουριών, στρειδιών και μυδιών) με διάρκεια έως και έξι χρόνια μετά την εισροή πετρελαίου (Clark, 2003).

Το πλαγκτόν το οποίο ζει στα ανώτερα στρώματα της στήλης του νερού, επηρεάζεται έντονα από την παρουσία του πετρελαίου. Τα αρωματικά κλάσματα του πετρελαίου είναι τοξικότερο στο πλαγκτόν σε σύγκριση με τις αλειφατικές ενώσεις (π.χ. αλκάνια και κυκλοαλκάνια). Όσο περνάει ο χρόνος μετά την έκλυση του πετρελαίου, διεργασίες όπως η εξάτμιση αλλάζουν τη σύσταση του πετρελαίου (γήρανση πετρελαίου –weathering of oil), απομακρύνοντας τα ελαφρύτερα συστατικά του, οπότε η τοξικότητά του στο πλαγκτόν μειώνεται. Γενικά, ενώ έχει παρατηρηθεί ότι σε σύντομο χρόνο μετά από ένα έντονο επεισόδιο ρύπανσης από πετρέλαιο οι οργανισμοί πλαγκτόν πεθαίνουν, οι επιδράσεις αυτές είναι βραχυχρόνιες και γρήγορα το σύστημα επανέρχεται στην κατάσταση πριν τη ρύπανση (Clark, 2003).

Μία από τις σημαντικότερες επιδράσεις της πετρελαϊκής ρύπανσης στο οικοσύστημα σχετίζεται με τους θανάτους των θαλασσοπούλιων. Αντίθετα με την πλειοψηφία των άλλων θαλάσσιων οργανισμών, τα θαλασσοπούλια βλάπτονται έμμεσα, κυρίως λόγω των φυσικών ιδιοτήτων του επιπλέοντος πετρελαίου. Όταν το φτέρωμα ενός πουλιού καλυφθεί από πετρέλαιο, παύει πια να απωθεί το νερό και κατά συνέπεια το νερό διεισδύει στο φτέρωμα και εκτοπίζει τον αέρα που βρίσκεται παγιδευμένος μεταξύ των φτερών και του δέρματος των πουλιών. Ο αέρας αυτός, παρέχει αυξημένη άνωση και θερμική μόνωση. Έτσι, το πουλί βυθίζεται στο νερό και πνίγεται. Ακόμη και αν δεν πνιγεί, η απώλεια της θερμικής μόνωσης έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία εξάντληση των αποθεμάτων ενέργειας του ζώου, που προσπαθεί να διατηρήσει τη θερμοκρασία του σώματός του σταθερή. Ακολουθεί υποθερμία και θάνατος. Επιπλέον, τα πουλιά προσπαθούν να καθαρίσουν το φτέρωμά τους από το πετρέλαιο με το ράμφος τους, με αποτέλεσμα να το καταπίνουν. Ανάλογα με την τοξικότητά του, το πετρέλαιο μπορεί να τους δημιουργήσει εντερικές διαταραχές, νεφρική και ηπατική ανεπάρκεια (Clark, 2003).

Τέλος η πετρελαϊκή ρύπανση επηρεάζει τα φυτά και τα δέντρα τα οποία φύονται στις περιοχές-όρια μεταξύ χερσαίων και θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Στο λεπτόκοκκο ίζημα που χαρακτηρίζει τις

περιοχές αυτές, το πετρέλαιο παγιδεύεται και παραμένει για μεγάλα χρονικά διαστήματα, επιδρώντας αρνητικά στη βλάστηση. Τα φυτά αυτά ελέγχουν την παράκτια διάβρωση, αποτελούν πηγή οργανικής ύλης που μεταφέρεται στη θάλασσα και προσφέρουν καταφύγιο στα νεαρά στάδια ανάπτυξης διαφόρων θαλασσίων οργανισμών (Clark, 2003).

#### **1.4.2 Κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία**

Αρκετοί από τους υδρογονάνθρακες του πετρελαίου είναι τοξικοί για τον άνθρωπο και έχουν αναφερθεί περιστατικά όπου μικρά παιδιά αρρώστησαν ή ακόμα και πέθαναν μετά από ακούσια κατανάλωση πετρελαιοειδών. Το πετρέλαιο περιέχει πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs), κάποιοι εκ των οποίων είναι γνωστές καρκινογόνες ουσίες για τον άνθρωπο (Clark, 2003).

#### **1.4.3 Επιδράσεις στις εμπορικές δραστηριότητες**

Η ρύπανση από πετρέλαιο απειλεί ιδιαίτερα τα αυγά των ψαριών και τις προνύμφες τους όπως και τους οργανισμούς που διαβιούν σε προφυλαγμένες παράκτιες περιοχές, όπου το πετρέλαιο παραμένει ανέπαφο για χρόνια. Οι ιχθυοκαλλιέργειες και οι οστρακοκαλλιέργειες παρουσιάζουν επίσης ευπάθεια στις διαρροές πετρελαίου, διότι τα ψάρια δεν μπορούν να διαφύγουν από τη ρυπασμένη περιοχή. Τα ψάρια είναι δυνατόν να εκτεθούν σε χαμηλές συγκεντρώσεις πετρελαίου οι οποίες δεν έχουν τοξικές επιδράσεις ωστόσο η γεύση και η μυρωδιά που αποκτούν απαξιώνει την εμπορική τους αξία και τα κάνει μη εμπορεύσιμα. Τέλος τα ατυχήματα που οδηγούν σε πετρελαϊκή ρύπανση μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τον τουρισμό και τις δραστηριότητες αναψυχής (Clark, 2003).



## 1.5 Φυσικοχημικές Μεταβολές

Το αργό πετρέλαιο περιέχει ένα ευρύ φάσμα υδρογονανθράκων το οποίο κυμαίνεται από πτητικά,ελαφριά υλικά όπως το προπάνιο και το βενζόλιο μέχρι πιο σύνθετες και βαριές ενώσεις όπως τα ασφαλτοειδή και οι ρητίνες. Τα διυλισμένα προϊόντα πετρελαίου όπως η βενζίνη, αποτελούνται από ένα μικρότερο και πιο συγκεκριμένο φάσμα αυτών των υδρογονανθράκων. Το πετρέλαιο, όταν διαρρέει στη θάλασσα διαχέεται και σχηματίζει ένα λεπτό υμένιο, την πετρελαιοκηλίδα η οποία επηρεάζεται από ένα σύνολο φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών. Οι διεργασίες αυτές ονομάζονται «γήρανση» («weathering»). Οι διεργασίες γήρανσης που επηρεάζουν την κάθε πετρελαιοκηλίδα καθορίζονται τόσο από τις ιδιότητες του πετρελαίου που διαρρέει, όσο και από τις περιβαλλοντικές, μετεωρολογικές και υδροδυναμικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή της διαρροής. (Atlas 2011, Ventikos 2006, Wang et al. 2003)

Τα πετρελαϊκά προϊόντα, ανάλογα με τις διεργασίες που υφίστανται μετά την είσοδό τους στο θαλάσσιο περιβάλλον, διαχωρίζονται σε εμμένοντα (persistent) και μη εμμένοντα (non persistent). Εμμένοντα θεωρούνται εκείνα τα οποία, λόγω της χημικής τους σύστασης, όταν διαρρέουν στη θάλασσα αποικοδομούνται με αργούς ρυθμούς και παράλληλα εξαπλώνονται, με αποτέλεσμα την ανάγκη λήψης μέτρων για την αντιμετώπιση της επακόλουθης ρύπανσης. Τα μη εμμένοντα υπόκεινται σε φυσικό διασκορπισμό ή εξατμίζονται και δεν είναι πάντα απαραίτητη η λήψη μέτρων για την καταπολέμησή τους. (Atlas 2011, Wang et al. 2003)

Ακολουθεί η συνοπτική περιγραφή των κυριότερων διαδικασιών γήρανσης, όπως αυτές προκύπτουν από την μελέτη της βιβλιογραφίας των Atlas (2011), Clark (2003), Fingas (Fingas et al. 1997,2001,2002,2003), Huang (1983), Ventikos (2006) και Wang (Wang et al. 2003).

### 1.5.1 Μετατόπιση (Advection-Drifting):

Η μετατόπιση της πετρελαιοκηλίδας επηρεάζεται από τον άνεμο και τα θαλάσσια ρεύματα. Ο άνεμος ευθύνεται για την επιφανειακή μετατόπιση ενώ τα θαλάσσια ρεύματα για την υποεπιφανειακή. Στην επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας αναπτύσσεται ένα άνω οριακό στρώμα λόγω του αέρα και ένα κάτω οριακό στρώμα εξαιτίας του θαλάσσιου ρεύματος με αποτέλεσμα την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων. Η τάση αυτή που αναπτύσσεται στην διεπιφάνεια αέρα-θάλασσας προκαλεί την κίνηση του θαλάσσιου τμήματος καθώς και την δημιουργία κυμάτων που 'κινούν' την πετρελαιοκηλίδα.

### 1.5.2 Εξάπλωση (Spreading):

Η πρώτη διεργασία που επηρεάζει το πετρέλαιο, μόλις αυτό χυθεί στη θάλασσα, είναι η οριζόντια εξάπλωση του, υπό την συνδυασμένη επίδραση του ιξώδους, της επιφανειακής τάσης και της βαρύτητας. Αρχικά στις διεργασίες εξάπλωσης επικρατεί η βαρύτητα (πρώτη φάση), στη συνέχεια οι αδρανειακές δυνάμεις και το ιξώδες του πετρελαίου (δεύτερη φάση) και ύστερα από λίγες ώρες, που το πάχος του πετρελαίου μειώνεται πολύ, η επιφανειακή τάση λειτουργεί ως η κύρια δύναμη εξάπλωσης (τρίτη φάση). Η εξάπλωση αποτελεί μία από τις σπουδαιότερες διεργασίες στα πρώτα στάδια της διαρροής. Ο ρυθμός εξάπλωσης εξαρτάται από το ιξώδες του πετρελαίου (πετρέλαια με χαμηλό ιξώδες τείνουν να εξαπλωθούν γρηγορότερα), τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες της περιοχής (ταχύτητα του ανέμου, υδάτινα ρεύματα, ύψος κύματος, θερμοκρασία επιφάνειας της θάλασσας), το πάχος της πετρελαιοκηλίδας και τις ιδιότητες του πετρελαίου.

### **1.5.3 Εξάτμιση (Evaporation):**

Τα ελαφρύτερα συστατικά στοιχεία του πετρελαίου τείνουν να εξατμίζονται στην ατμόσφαιρα. Ο όγκος και ο ρυθμός της εξάτμισης εξαρτώνται από την πτητικότητα του πετρελαίου. Πετρέλαια που περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό ελαφριά, πτητικά συστατικά εξατμίζονται περισσότερο από αυτά που περιέχουν μεγάλο ποσοστό βαρύτερων ενώσεων. Για παράδειγμα, ελαφριά πετρελαϊκά προϊόντα όπως η κυροζίνη, η βενζίνη και το πετρέλαιο diesel τείνουν να εξατμίζονται σχεδόν τελείως μετά από μερικές μέρες, ενώ αντίθετα, στο ίδιο χρονικό διάστημα, ένα βαρύ καύσιμο θα υποστεί μικρή εξάτμιση. Η εξάτμιση μπορεί να αυξηθεί όσο το πετρέλαιο εξαπλώνεται, λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας της κηλίδας. Όταν η θάλασσα είναι ταραγμένη ο ρυθμός εξάτμισης αυξάνεται, γιατί διευκολύνεται η απώλεια πετρελαίου από τις κορυφές των κυμάτων σαν σταγονίδια. Η μεγάλες ταχύτητες του ανέμου και οι υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν επίσης τους ρυθμούς εξάτμισης.

Από όλες τις διαδικασίες που επηρεάζουν το πετρέλαιο, η εξάτμιση έχει την μεγαλύτερη επίδραση στην τύχη των συστατικών του. Μπορεί να προκαλέσει απώλεια μάζας 60% σε ένα ελαφρύ αργό πετρέλαιο.

### **1.5.4 Διασπορά (Dispersion):**

Κύματα και αναταράξεις στην επιφάνεια της θάλασσας μπορούν να προκαλέσουν τμήματα της πετρελαιοκηλίδας να διασπαστούν σε σταγονίδια ποικίλων διαστάσεων. Αυτά αναμιγνύονται με τα ανώτερα στρώματα της υδάτινης στήλης. Τα μικρότερα από αυτά θα παραμείνουν δεσμευμένα στο νερό της θάλασσας, όπου ξεκινά η βιοδιάσπαση και η καθίζηση. Τα μεγαλύτερα θα αναδυθούν στην επιφάνεια και είτε θα επανενωθούν με την πετρελαιοκηλίδα είτε θα σχηματίσουν λεπτά υμένα.

Ο ρυθμός της διασποράς εξαρτάται από τη φύση του πετρελαίου και την κατάσταση της θάλασσας. Είναι μεγαλύτερος για ελαφρύτερα πετρέλαια με μικρό ιξώδες και ταραγμένη θάλασσα.

### **1.5.5 Διάλυση (Dissolution):**

Οι απώλειες από τη διάλυση του πετρελαίου στη θάλασσα είναι σχετικά μικρές, αφού οι περισσότεροι υδρογονάνθρακες από τους οποίους αποτελείται έχουν μικρή διαλυτότητα στο θαλασσινό νερό, ενώ εκείνα τα συστατικά του πετρελαίου που μπορούν να διαλυθούν εξατμίζονται, καθώς η εξάτμιση συμβαίνει 10-100 φορές γρηγορότερα από τη διάλυση.

### **1.5.6 Γαλακτωματοποίηση (Emulsification):**

Το γαλάκτωμα δημιουργείται όταν δύο υγρά συνδυάζονται με το ένα να καταλήγει δεσμευμένο μέσα στο άλλο.

Πετρέλαιο στο νερό (oil in water emulsion) : Το πετρέλαιο που διαρρέει στη θάλασσα, μπορεί υπό ορισμένες συνθήκες – έντονος κυμματισμός, μεγάλη ταχύτητα ανέμου (τυρβώδης επιφάνεια της θάλασσας) – να διασπαστεί σε σταγονίδια που παρασύρονται από τον άνεμο και αιωρούνται στο νερό, χωρίς να προσβάλλεται η χημική τους σύσταση.

Η διασπασμένη κηλίδα δεν επηρεάζεται από τον άνεμο και μπορεί να σχηματιστεί ξανά σε κάποια απόσταση από την περιοχή που έγινε η διαρροή.

Νερό στο πετρέλαιο (water in oil emulsion): Η ιζηματοποίηση του πετρελαίου συμβαίνει όταν σταγονίδια νερού αναμιγνύονται και δεσμεύονται μέσα στο πετρέλαιο. Η ανάμιξη αυτή ενισχύεται από

την τύρβη στην επιφάνεια της θάλασσας. Το γαλάκτωμα που σχηματίζεται αποτελείται από περίπου 90% νερό και έχει πολύ μεγαλύτερο ιξώδες, πυκνότητα και ειδικό βάρος από το αρχικό πετρέλαιο. Αναφέρεται και ως 'chocolate mousse'. Ο σχηματισμός των γαλακτωμάτων μεγαλώνει τον όγκο του ρύπου μέχρι και δέκα φορές, επιβραδύνει τις άλλες διαδικασίες της γήρανσης και καθιστά πολύ δύσκολη την εφαρμογή των μηχανισμών αντιμετώπισης της ρύπανσης.

Τα γαλακτώματα μπορούν να διασπαστούν ξανά σε νερό και πετρέλαιο εάν ζεσταθούν κάτω από τον ήλιο σε ήρεμη κατάσταση της θάλασσας ή όταν ξεβραστούν στην ακτή. Συνεπώς τα γαλακτώματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες: σταθερά (stable), ασταθή (unstable) και μετασταθή (mesostable).

#### **1.5.7 Φωτο-Οξειδωση (Oxidation):**

Η χημική αντίδραση των υδρογονανθράκων με το οξυγόνο ονομάζεται οξείδωση. Η υπεριώδης ακτινοβολία από το φως του ήλιου επιταχύνει την οξείδωση. Η αντίδραση αυτή γίνεται επιφανειακά και λόγω της ταχείας μείωσης της διείσδυσης του φωτός σε στρώματα πετρελαίου μεγάλου πάχους, οι επιπτώσεις της πετρελαιοκηλίδας παρουσιάζονται σε κηλίδες μικρού πάχους ή στο επιφανειακό στρώμα κηλίδων μεγάλου πάχους. Τα πετρέλαια που οξειδώνονται με τη δράση του φωτός είναι γενικά περισσότερο διαλυτά και διασκορπίζονται καλύτερα στο θαλασσινό νερό και επομένως είναι βιοαποικοδομήσιμα. Σε βαρέα πετρέλαια ή σε εκείνα που έχουν χάσει τα ελαφρά συστατικά τους, η φωτο-οξείδωση ευνοεί τις αντιδράσεις πολυμερισμού που εμποδίζει το χειρισμό αυτών των πετρελαίων και την αποικοδόμησή τους.

#### **1.5.8 Ιζηματοποίηση και βύθιση (sedimentation and sinking):**

Το θαλασσινό νερό έχει πυκνότητα περίπου ίση με 1,025-1,027 g/cm<sup>3</sup> και πολύ λίγοι τύποι πετρελαίου έχουν αρκετά μεγάλο μοριακό βάρος ή επηρεάζονται από τις διαδικασίες γήρανσης με τέτοιο τρόπο ώστε ένα μέρος τους να βυθιστεί στο θαλάσσιο περιβάλλον. Συχνά η αιτία της βύθισης είναι η προσκόλληση ιζημάτων και άλλων οργανικών ουσιών ή και άμμου σε ρηχές θάλασσες με αμμώδη βυθό.

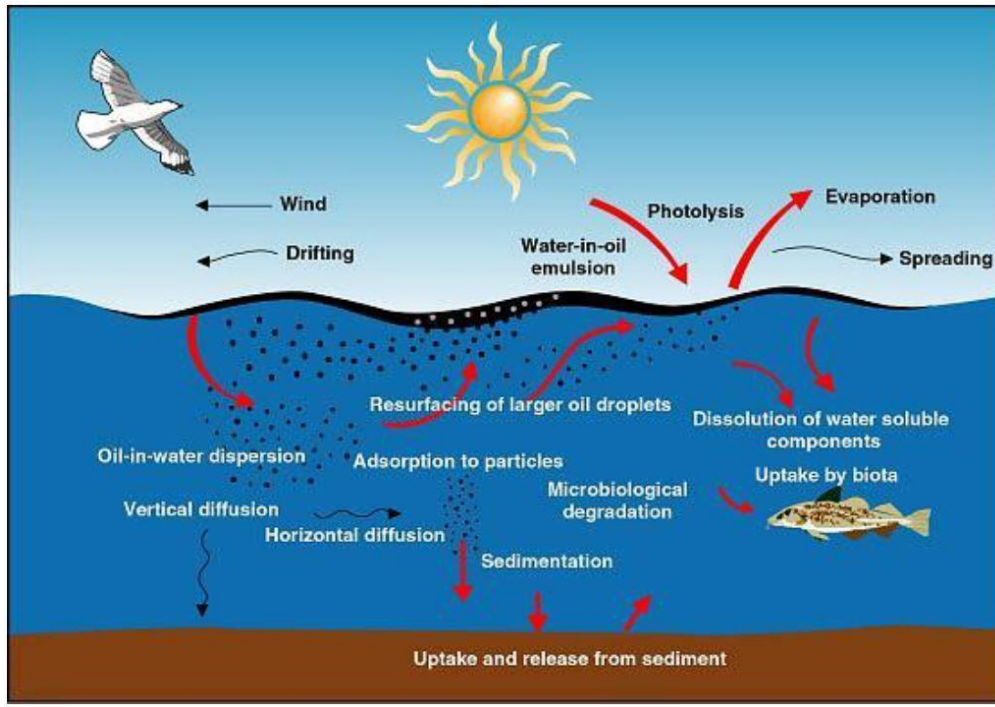
#### **1.5.9 Αύξηση του ιξώδους του πετρελαίου:**

Το ιξώδες του πετρελαίου θα αυξηθεί κατά τη διάρκεια της γήρανσης, εξαιτίας κυρίως της εξάτμισης και της γαλακτωματοποίησης. Επιπροσθέτως εξαρτάται σημαντικά από τη θερμοκρασία της κηλίδας.

#### **1.5.10 Αύξηση της πυκνότητας του πετρελαίου:**

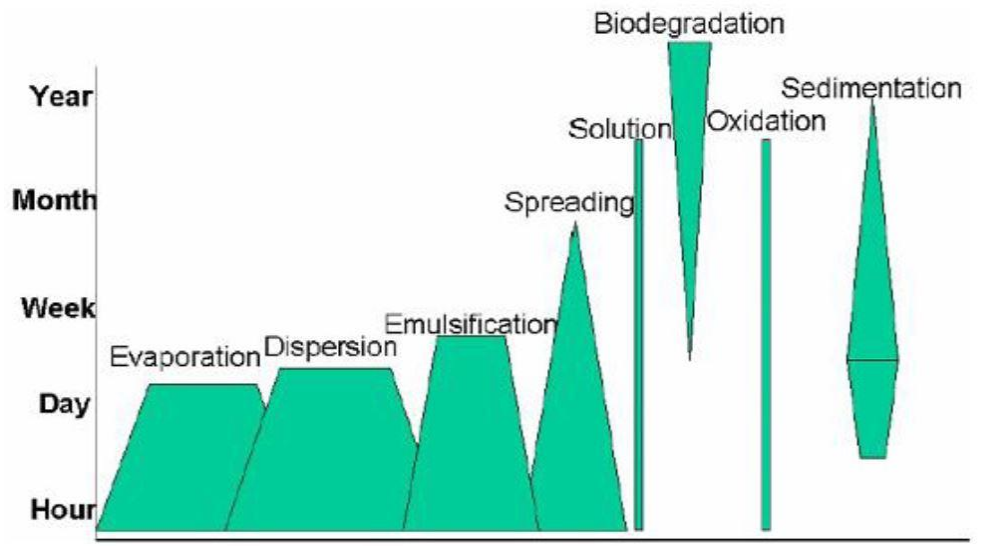
Η πυκνότητα του πετρελαίου, όταν αυτό βρεθεί στο θαλάσσιο χώρο, θα αυξηθεί, εξαιτίας της εξάτμισης (οι ελαφριοί υδρογονάνθρακες χάνονται) και της γαλακτωματοποίησης (το θαλασσινό νερό έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το πετρέλαιο).

Όλες οι παραπάνω φυσικοχημικές διεργασίες του πετρελαίου, όταν αυτό διαρρέει στο θαλάσσιο περιβάλλον, απεικονίζονται στο σχήμα παρακάτω:



Εικόνα 1.5.1 : Σχηματική απεικόνιση φυσικοχημικών διεργασιών πετρελαίου ύστερα από διαρροή σε θαλασσινό νερό(ΙΜΟ/UNEP, 2008)

Η χρονική επίδραση των παραπάνω φυσικοχημικών διεργασιών στο πετρέλαιο παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 1.5.2 : Σχηματική απεικόνιση φυσικοχημικών διεργασιών σε μία πετρελαιοκηλίδα (ΙΜΟ/UNEP, 2008)

Ανεξάρτητα από όλες τις διεργασίες που γίνονται παράλληλα, η πετρελαιοκηλίδα συνεχίζει να μετατοπίζεται καθόλη τη διάρκεια της ζωής της και η μετατόπιση αυτή μπορεί να προβλεφθεί μελετώντας τις επιδράσεις των ανέμων και των επιφανειακών ρευμάτων που επικρατούν στην περιοχή.

## Κεφάλαιο 2

### Περιγραφή και Παρουσίαση της εφαρμογής SpillSolver App

#### 2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μία παρουσίαση του προγράμματος SpillSolver App και των μεθόδων που χρησιμοποιεί για την πρόβλεψη της γήρανσης του πετρελαίου.

Το SpillSolver App αποτελεί μία διαδικτυακή εφαρμογή (web application) η οποία μπορεί να είναι διαθέσιμη στους χρήστες της μέσω του Διαδικτύου και ο χρήστης χρειάζεται μόνο τον περιηγητή του (web browser) για να την χρησιμοποιήσει. Η εφαρμογή δέχεται σαν είσοδο διάφορες φυσικοχημικές και μετεωρολογικές παραμέτρους και εξάγει πίνακες, γραφήματα καθώς και μία αναπαράσταση σε χάρτη βασιζόμενα στα αποτελέσματα των διαδικασιών γήρανσης του πετρελαίου.

Η ανάπτυξη της εφαρμογής έγινε με τη βοήθεια των γλωσσών προγραμματισμού Python, HTML, Javascript και CSS. Η γλώσσα Python χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία της κύριας εφαρμογής καθώς και για την εκτέλεση των διάφορων υπολογισμών που αφορούν την γήρανση και τις ιδιότητες του πετρελαίου. Οι γλώσσες HTML, Javascript και CSS χρησιμοποιήθηκαν για τη σχεδίαση δημιουργία του περιβάλλοντος της διεπαφής (API) μεταξύ χρήστη και προγράμματος.

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη της παρούσας έκδοσης του προγράμματος βασίστηκε στα δύο προηγούμενα μοντέλα SpillSolver (Κορρός 2008), SpillSolver 2.0 (Παρίσος 2015). Και οι δύο εφαρμογές αποτελούν υπολογιστικά προγράμματα γραμμένα σε γλώσσα MATLAB και έχουν παρόμοια λειτουργία με το SpillSolver App. Η εφαρμογή επηρεάστηκε επίσης, στα πλαίσια των διεργασιών γήρανσης και του σχεδιασμού της διεπαφής προγράμματος-χρήστη, από τα προγράμματα ADIOS 2 και GNOME

Το ADIOS 2 (Automated Data Inquiry for Oil Spills) είναι ένα πρόγραμμα που κάνει πρόβλεψη της γήρανσης του πετρελαίου για πέντε μέρες και έχει αναπτυχθεί από το Office of Response and Restoration του NOAA. Το πρόγραμμα έχει αναπτυχθεί ώστε να πραγματοποιεί μαθηματικούς υπολογισμούς σχετικά με το μέλλον μιας πετρελαιοκηλίδας, λαμβάνοντας όσες το δυνατόν λιγότερες πληροφορίες-παραμέτρους από το χρήστη. Χρησιμοποιεί βιβλιοθήκες οι οποίες προέρχονται από διάφορες πηγές, μεταξύ των οποίων το Environment Canada και το U.S. Department of Energy, and industry.

Το GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment) είναι ένα υπολογιστικό εργαλείο το οποίο έχει αναπτυχθεί από το Office of Response and Restoration's (OR&R) και χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της εξάπλωσης και της μετατόπισης πετρελαιοκηλίδων.

Ακολουθεί ο συνοπτικός πίνακας 2.1.1 με αναφορά στα μοντέλα των διαδικασιών γήρανσης και ιδιοτήτων της πετρελαιοκηλίδας που ενσωματώνονται σε κάθε ένα από τα προαναφερθέντα προγράμματα (SpillSolver, SpillSolver 2.0, SpillSolver App, ADIOS 2, GNOME).

Πίνακας 2.1.1 : Δυνατότητες των προγραμμάτων

FUNCTIONS AVAILABLE IN EACH APPLICATION				
SpillSolver	SpillSolver 2.0	SpillSolver App	Adios	GNOME
Spreading	Spreading	Spreading	Spreading	Spreading
Evaporation	Evaporation	Evaporation	Evaporation	
Emulsification	Emulsification	Emulsification	Emulsification	
Dispersion	Dispersion	Dispersion	Dispersion	
Photooxidation	Photooxidation			
Sedimentation	Sedimentation	Sedimentation		
Drift	Drift	Drift		Drift
Oil Density	Oil Density	Oil Density	Oil Density	
Oil Viscosity	Oil Viscosity	Oil Viscosity	Oil Viscosity	
Oil Spill Thickness	Oil Spill Thickness	Oil spill Thickness		
	Shore Stranding	Shore Stranding	Shore Stranding	
	Wind Equation	Wind Equation		
	Probabilistic Oil Outflow			
	Total Evaporation Time			
	Vertical Mixing			
	Entrainment of Oil to the Water Column			
		Map Representation		Map Representation
			Burning	
	Skimmers		Skimmers	



## 2.2 Πρόβλεψη κίνησης και μεταβολής φυσικοχημικών ιδιοτήτων πετρελαιοκηλίδας με το Spillsolver App

Το SpillSolver App δέχεται σαν είσοδο από το χρήστη διάφορες παραμέτρους και με τη βοήθεια μαθηματικών συναρτήσεων εξάγει αποτελέσματα για τις διάφορες φυσικοχημικές μεταβολές που ενδέχεται να υποστεί η πετρελαιοκηλίδα μέσα στις επόμενες 120 ώρες (5 ημέρες). Μέσα στο χρονικό διάστημα αυτό εκτελούνται οι κυριότερες διαδικασίες γήρανσης και είναι το μέγιστο χρονικό διάστημα για το οποίο οι συναρτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν εξάγουν ακριβείς προβλέψεις σχετικά με τις ιδιότητες της πετρελαιοκηλίδας. Όλα τα εργαλεία πρόβλεψης της γήρανσης πετρελαιοκηλίδων που αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.1 εξάγουν συμπεράσματα για μέγιστο χρονικό διάστημα 120 ωρών μετά την αρχική διαρροή. Η επιλογή των μαθηματικών συναρτήσεων που χρησιμοποιήθηκαν έγινε με βασικά κριτήρια την ακρίβεια των αποτελεσμάτων τους και την απλότητα των παραμέτρων που χρησιμοποιούν.

Οι παράμετροι που λαμβάνει το πρόγραμμα είναι : ο τύπος του πετρελαίου που διαρρέει, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, το ύψος μέτρησης του ανέμου, η θερμοκρασία της θάλασσας, η ταχύτητα και η διεύθυνση του θαλάσσιου ρεύματος, η αλατότητα και η πυκνότητα του θαλασσινού νερού και η ποσότητα του πετρελαίου που διαρρέει στην περίπτωση στιγμιαίας διαρροής ή ο ρυθμός και η διάρκεια διαρροής του πετρελαίου στην περίπτωση συνεχόμενης διαρροής.

Αφού ο χρήστης εισάγει τις απαιτούμενες πληροφορίες και πατήσει το κομβίο υπολογισμού, πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί από το πρόγραμμα. Οι μαθηματικοί τύποι εφαρμόζονται ξεχωριστά για την κάθε ώρα μελέτης του προβλήματος και χρησιμοποιούνται ο ένας μετά τον άλλο, με συγκεκριμένη σειρά, ανάλογη με τη σειρά εμφάνισης των αντίστοιχων φυσικοχημικών μεταβολών.

Όλοι οι μαθηματικοί τύποι που χρησιμοποιούνται στο SpillSolver App, διερευνήθηκαν από τον Κορρό και επιλέχθηκαν για το SpillSolver από τον Χατζηκωνσταντίνου, στα πλαίσια των διπλωματικών τους εργασιών το 2008.

Αρχικά το πρόγραμμα διαβάζει την παράμετρο – τύπος πετρελαίου με βάση την οποία υπολογίζονται οι αρχικές ιδιότητες του πετρελαίου, καθώς και τις παραμέτρους που περιγράφουν τις συνθήκες της θάλασσας και του ανέμου. Στο πρόγραμμα χρησιμοποιείται αντικειμενοστραφής προγραμματισμός και ορίζεται μία κλάση για το πετρέλαιο, μία για τον αέρα και μία για το νερό. Στην κάθε κλάση αποθηκεύονται όλες οι ιδιότητες και οι συναρτήσεις που περιγράφουν το αντίστοιχο μέγεθος (π.χ. οι διαδικασίες γήρανσης αποθηκεύονται σαν συναρτήσεις μέσα στην κλάση του πετρελαίου). Ακολουθεί η μετατροπή των τιμών των παραμέτρων ανάλογα με τις μονάδες που έχει ορίσει ο χρήστης (π.χ. εάν ο όγκος διαρροής έχει οριστεί σε βαρέλια μετατρέπεται και σε κυβικά μέτρα αλλά και σε τόνους).

Αφού γίνει ο ορισμός των απαιτούμενων μεγεθών ξεκινάει μία επαναληπτική διαδικασία με 120 επαναλήψεις (μία επανάληψη για την κάθε ώρα μελέτης), σε κάθε μία από τις οποίες γίνονται οι ακόλουθοι υπολογισμοί:

Αρχικά υπολογίζεται ο όγκος πετρελαίου που έχει διαρρεύσει ως την τρέχουσα ώρα μελέτης. Στην περίπτωση συνεχούς διαρροής, ο όγκος αυτός προκύπτει ως γινόμενο του ρυθμού διαρροής επί την ώρα μελέτης, έως ότου να περάσει ο συνολικός χρόνος έγχυσης, οπότε και ο όγκος αυτός θα πάρει τη μέγιστη τιμή του. Στην περίπτωση της στιγμιαίας διαρροής ο όγκος αυτός θα πάρει τη μέγιστη τιμή του από την αρχή (η οποία θα ισούται με την τιμή που εισάγει ο χρήστης) και θα παραμένει σταθερός για όλες τις ώρες μελέτης.

Ακολουθεί ο υπολογισμός του ποσοστού και του όγκου του πετρελαίου που εξατμίζεται. Για την μελέτη του φαινομένου της εξάτμισης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο που αναπτύχθηκε από τους Fingas, et al.(2003) :

$$P_{ev} = [0.165 \cdot (\% D) + 0.045 \cdot (T - 15)] \cdot \ln(t) \quad \text{Εξίσωση 2.2.1}$$

Όπου:

$P_{ev}$ :	Το ποσοστό που εξατμίζεται
%D:	Το ποσοστό κατά βάρος που διυλίζεται στους 180°C
t:	Ο χρόνος [min]
T:	Η θερμοκρασία της θάλασσας (°C)

Το μοντέλο αυτό διευκολύνει τη μελέτη του φαινομένου, καθώς συναρτά την εξάτμιση μόνο με το χρόνο και τη θερμοκρασία. Για τον υπολογισμό του όγκου εξάτμισης υπολογίζεται το γινόμενο ποσοστού εξάτμισης (που προκύπτει από το μοντέλο) επί του ολικού όγκου πετρελαίου που υπολογίστηκε παραπάνω και στη συνέχεια ο όγκος εξάτμισης αφαιρείται από τον ολικό όγκο για να υπολογιστεί ο όγκος του πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα .

Έπειτα ακολουθεί ο υπολογισμός του όγκου διασποράς, μέσω του υπολογισμού του ρυθμού διασποράς για τον οποίο χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\frac{dV_{disp}}{dt} = N \cdot V_{rem} = N \cdot (V_0 - V_{ev}) \quad \text{Εξίσωση 2.2.2}$$

Όπου:

$dV_{disp}/dt$ :	Ρυθμός διασποράς όγκου πετρελαίου ανά μονάδα χρόνου
N:	Συντελεστής διασποράς [ $\text{sec}^{-1}$ ], όπου για ταχύτητα ανέμου U [m/s] $N = 2 \cdot 10^{-8} \cdot U^2$
$V_{rem}$ :	Ο όγκος του πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα
$V_0$ :	Ο ολικός όγκος πετρελαίου που χύθηκε στη θάλασσα
$V_{ev}$ :	Ο όγκος του πετρελαίου που εξατμίζεται

Ο όγκος διασποράς προκύπτει πολλαπλασιάζοντας τον ρυθμό διασποράς επί τον χρόνο (θέλουμε τον χρόνο σε δευτερόλεπτα, οπότε χρόνος = ώρα μελέτης \* 60 \* 60). Διαιρώντας τον όγκο



διασποράς με τον παραμένοντα όγκο προκύπτει το ποσοστό διασποράς. Ο όγκος διασποράς αφαιρείται από τον παραμένοντα όγκο ώστε να υπολογιστεί εκ νέου ο παραμένων όγκος .

Στη συνέχεια εφαρμόζεται το μοντέλο γαλακτωματοποίησης. Για τον υπολογισμό του ποσοστού γαλακτωματοποίησης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος του Rasmussen (Κορρός, 2008):

$$Y_w = \frac{1 - \exp(-k_A \cdot k_B \cdot (1 + V_w)^2 \cdot t)}{k_B} \quad \text{Εξίσωση 2.2.3}$$

Όπου:

$Y_w$ : Το ποσοστό νερού στο πετρέλαιο

$k_A, k_B$ :  $k_A = 4,5 \cdot 10^{-6}, k_B = 1,25$

$V_w$ : Η ταχύτητα του ανέμου [m/s]

t: Ο χρόνος

Ο όγκος νερού που δεσμεύεται στο πετρέλαιο προκύπτει από το γινόμενο του ποσοστού γαλακτωματοποίησης ( $Y_w$ ) επί τον παραμένοντα όγκο πετρελαίου.

Ακολουθεί το μοντέλο ιζηματοποίησης. Για τον υπολογισμό του ρυθμού του όγκου πετρελαίου που χάνεται λόγω ιζηματοποίησης χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω σχέση που περιλαμβάνεται στο USC model (Κορρός, 2008):

$$\frac{d(A_d)}{dt} = 1,4 \cdot 10^{-12} \cdot S_L \cdot (1 - 0,023 \cdot S_a) \quad \text{Εξίσωση 2.2.4}$$

Όπου:

$A_d$ : Ο όγκος του πετρελαίου που γίνεται ίζημα [ $m^3$ ]

t: Ο χρόνος [sec]

$S_L$ : Sediment Load [ $gm/m^3$ ]

$S_a$ : Η αλατότητα

Εφαρμόζεται στη συνέχεια το μοντέλο μεταβολής πυκνότητας πετρελαίου (Κορρός, 2008):

$$p_e = Y \cdot p_w + (1 - Y) \cdot (p_c - C_3 \cdot F_e) \quad \text{Εξίσωση 2.2.5}$$

Όπου:

$p_e$ : Η πυκνότητα του γαλακτώματος [ $kg/m^3$ ]

$p_w$ : Η πυκνότητα του θαλασσινού νερού [ $kg/m^3$ ]

$p_c$ : Η πυκνότητα του πετρελαίου [ $kg/m^3$ ]

$C_3$ : Σταθερά από καμπύλη διύλισης

- Y: Το ποσοστό του νερού στο πετρέλαιο  
 F<sub>e</sub>: Το ποσοστό εξάτμισης του πετρελαίου

Αμέσως μετά γίνεται εφαρμογή του μοντέλου μεταβολής του ιξώδους της πετρελαιοκηλίδας, το οποίο έχει προταθεί από τους Hossain & Mackay (Κορρός, 2008):

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \exp\left(\frac{2.5 \cdot F_w}{1 - 0.654 \cdot F_w}\right) \quad \text{Εξίσωση 2.2.6}$$

Όπου:

- μ: Ιξώδες του γαλακτώματος  
 μ<sub>0</sub>: Ιξώδες της πετρελαιοκηλίδας  
 F<sub>w</sub>: Το κατ'όγκον κλάσμα νερού στο πετρέλαιο

Το επόμενο μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι αυτό της εξάπλωσης της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας. Για την μελέτη της εξάπλωσης της πετρελαιοκηλίδας χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του Fay (1971) :

$$A = 2270 \cdot \left(\frac{\Delta p}{p_o}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot V^{\frac{2}{3}} \cdot t^{\frac{1}{2}} + 40 \cdot \left(\frac{\Delta p}{p_o}\right) \cdot V^{\frac{1}{3}} \cdot W^{\frac{4}{3}} \cdot t \quad \text{Εξίσωση 2.2.7}$$

Όπου:

- A: Τελική επιφάνεια [m<sup>3</sup>]  
 ρ<sub>o</sub>: Πυκνότητα του πετρελαίου [kg/m<sup>3</sup>]  
 ρ<sub>w</sub>: Πυκνότητα θαλασσινού νερού [kg/m<sup>3</sup>]  
 Δρ: Δρ = ρ<sub>w</sub> - ρ<sub>o</sub>  
 V: Όγκος του πετρελαίου που εξαπλώνεται [barell] , (1 barell = 158.9873 L)  
 W: Ταχύτητα ανέμου [knots]

Έπειτα υπολογίζεται η ακτίνα της επιφάνειας εάν (για λόγους διευκόλυνσης της αναπαράστασης στο χάρτη) αυτή θεωρηθεί κυκλική:

$$R_A = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad \text{Εξίσωση 2.2.8}$$

Όπου: A η επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας [m<sup>2</sup>].

Με βάση την επιφάνεια που προκύπτει από τον τύπο υπολογίζεται το πάχος της πετρελαιοκηλίδας:

$$h = \frac{V}{A}$$

**Εξίσωση 2.2.9**

Όπου:

h: Πάχος πετρελαιοκηλίδας [m]

V: Όγκος πετρελαίου που απομένει στη θάλασσα [m<sup>3</sup>]

A: Επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας όπως αυτή προκύπτει από το μοντέλο εξάπλωσης [m<sup>2</sup>]

Τέλος υπολογίζεται ταχύτητα μετατόπισης του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας :

$$u_{total\ x} = u_{cx} + 0.03 \cdot u_x$$

**Εξίσωση 2.2.10**

$$u_{total\ y} = u_{cy} + 0.03 \cdot u_y$$

**Εξίσωση 2.2.11**

Όπου:

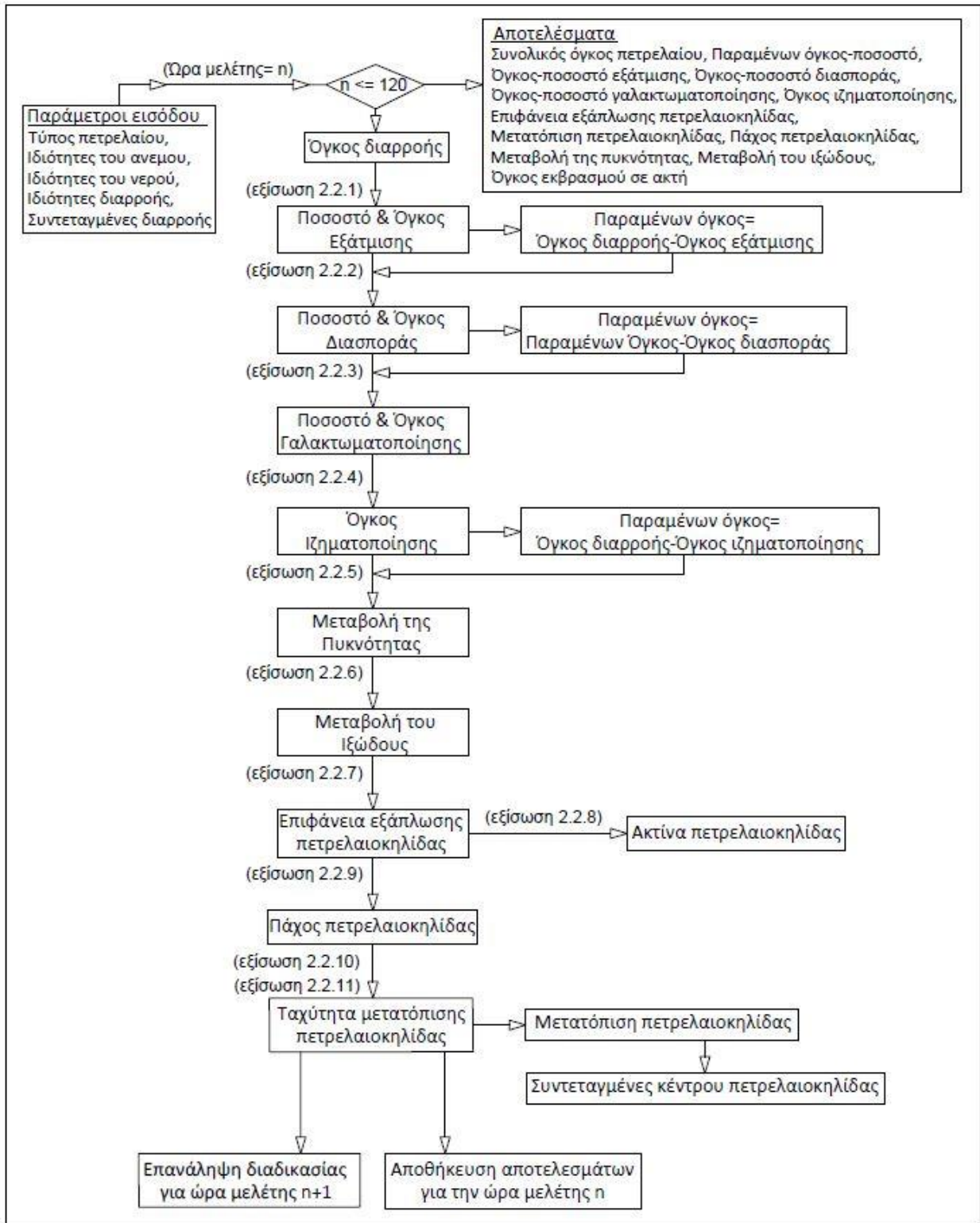
u<sub>c</sub>: Η ταχύτητα του θαλάσσιου ρεύματος

u: Η ταχύτητα του αέρα

u<sub>total</sub>: Η ταχύτητα μετατόπισης του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας

Για κάθε ώρα μελέτης η μετατόπιση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας υπολογίζεται σαν γινόμενο της ταχύτητας επί την ώρα μελέτης για τον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονα ξεχωριστά, και προκύπτει σε ναυτικά μίλια.

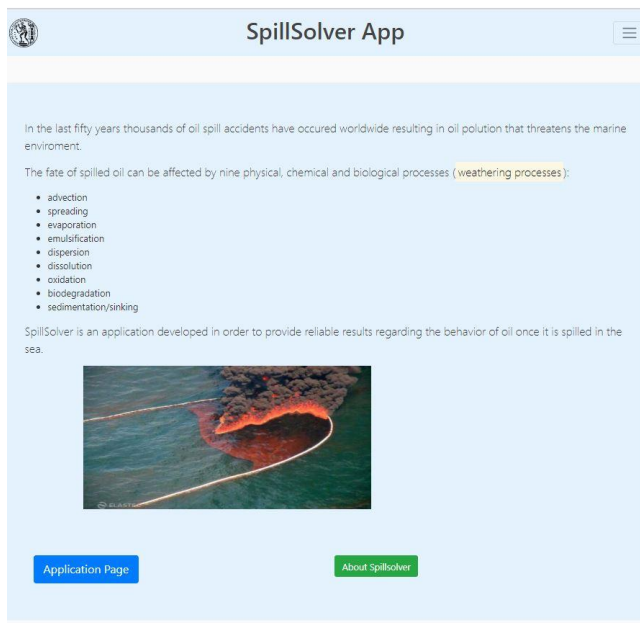
Ο τρόπος λειτουργίας του SpillSolver App που περιγράφεται παραπάνω, παρουσιάζεται συνοπτικά, με τη μορφή διαγράμματος ροής, στην Εικόνα 2.2.1 που ακολουθεί.



Εικόνα 2.2.1 : Διάγραμμα ροής του τρόπου λειτουργίας της εφαρμογής SpillSolver App

## 2.3 Περιγραφή και χρήση του SpillSolver App

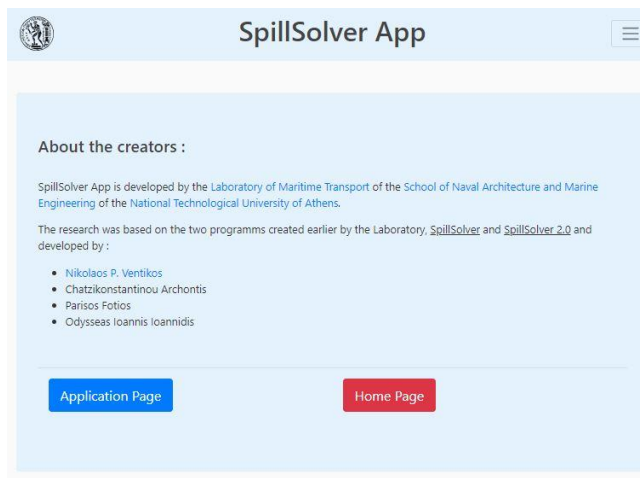
Παρουσιάζονται παρακάτω ο τρόπος λειτουργίας και οι δυνατότητες του προγράμματος. Ανοίγοντας αρχικά το πρόγραμμα βρισκόμαστε στην αρχική σελίδα.



Εικόνα 2.3.1 : SpillSolver App - Αρχική σελίδα

Κάτω από το εισαγωγικό σημείωμα βρίσκονται δύο κομβία: 'Application Page', 'About Page'.

Επιλέγοντας το 'About Page' εμφανίζεται η σελίδα πληροφοριών με αναφορά στους δημιουργούς του προγράμματος.



Εικόνα 2.3.2 : SpillSolver App - Σελίδα πληροφοριών

Επιλέγοντας 'Application Page' ο χρήστης οδηγείται στην βασική σελίδα της εφαρμογής όπου πρέπει να συμπληρώσει την φόρμα με τα στοιχεία που αφορούν την διαρροή πετρελαίου.

**SpillSolver App**

**Application - Input Page**

**Setup Release Conditions :**

Make sure all fields below are properly filled

**1. Oil :**  
Choose Oil Type : Nigerian Light

**2. Environmental Conditions :**

**Wind**

Speed : 8 knots  
Measure Height : 10 meters  
Direction : North

**Water:**

Temperature : 12 Degrees : Celsius  
Density : 1025 kilograms / cubic meters  
Salinity : 3.5 ‰  
Sediment Load : 5 mg/l  
Current Speed : 0.1 knots  
Current Direction : North

**3. Release :**

Released Volume/Mass - or - Rate of Volume/Mass Release :  
13000 ton  
Release Duration : 0 hours

**4. Spill Coordinates :**

Latitude : 37.452444  
Longitude : 24.267856

**5. Shore Stranding :**

Hour of Stranding : \*  
Shore Length : 1000  
Shore Width : 100  
Shore Depth : 100

**Calculate**

Εικόνα 2.3.3 : SpillSolver App – Σελίδα εισαγωγής παραμέτρων

Αρχικά ο χρήστης επιλέγει τον τύπο του πετρελαίου επιλέγοντας μία επιλογή από τη λίστα.

**1. Oil :**  
Choose Oil Type : Nigerian Light

**2. Environment :**

**Wind**

Speed : 8 knots  
Measure Height : 10 meters  
Direction : North

- Nigerian Light
- Sarir
- Arabian Light
- Iranian Light
- Kuwait
- Ecofisc
- Qatar Marine
- Statfjord

Εικόνα 2.3.4 : SpillSolver App - Τύπος πετρελαίου

Στη συνέχεια γίνεται επιλογή των περιβαλλοντικών συνθηκών δηλαδή των ιδιοτήτων του ανέμου και του νερού στην περιοχή.

**2. Enviromental Conditions :**

**Wind**

Speed :

Day 1: 8  North

Day 2: 8  North

Day 3: 8  North

Day 4: 8  North

Day 5: 8  North

Wind Speed Units : knots

Measure Height : 10  meters

**Water:**

Temperature : 12  Degrees : Celcius

Density : 1025  kilograms / cubic meters

Salinity : 3.5  %

Sediment Load : 5  mg/l

Current Speed :

Day 1 : 0.1  knots North

Day 2 : 0.1  knots North

Day 3 : 0.1  knots North

Day 4 : 0.1  knots North

Day 5 : 0.1  knots North

**Εικόνα 2.3.5 : SpillSolver App - Περιβαλλοντικές συνθήκες**

Όσον αφορά τον άνεμο ο χρήστης επιλέγει την ταχύτητα του ανέμου, τις μονάδες μέτρησης ταχύτητας, το ύψος στο οποίο έγινε η μέτρηση καθώς και την κατεύθυνση του.

Η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου μπορούν να μεταβάλλονται για την κάθε μέρα μελέτης, ενώ οι υπόλοιπες ιδιότητες παραμένουν σταθερές.

Η ταχύτητα του ανέμου δε μπορεί να ξεπεράσει την μέγιστη τιμή 12 beaufort = 63 knots και σε περίπτωση που ο χρήστης εισάγει μεγαλύτερη τιμή το πρόγραμμα λαμβάνει αυτόματα τη μέγιστη τιμή.

**Wind**

Speed :

Day 1:

Day 2:

Day 3:

Day 4:

Day 5:

Wind Speed Units :

Measure Height :  meters

**Εικόνα 2.3.6 :SpillSolver App - Άνεμος**

Όσον αφορά στο νερό επιλέγονται διάφορες φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού (συνήθως η τιμή τους δεν μεταβάλλεται σε σχέση με την προεπιλεγμένη τιμή) και η ταχύτητα του θαλάσσιου ρεύματος καθώς και η κατεύθυνση του (παρόμοιος τρόπος επιλογής όπως και στη κατεύθυνση του ανέμου). Η κατεύθυνση και η ταχύτητα του ρεύματος μπορούν να διαφέρουν για την κάθε μέρα μελέτης.

Τα επόμενα πεδία της φόρμας αφορούν τη διαρροή πετρελαίου όπου ο χρήστης ορίζει τον συνολικό όγκο (ή τη μάζα) του πετρελαίου που χύθηκε ή το ρυθμό διαρροής όγκου (ή μάζας) πετρελαίου καθώς και το χρόνο διαρροής σε μέρες ή ώρες με μέγιστη τιμή τις 5 μέρες ( = 120 ώρες).

**3. Release :**

Can be continuous or instant according to units and spill duration selected

Released Volume/Mass -or- Rate of Volume/Mass Release :

Release Duration :

**4. Spill Coordinates :**

Latitude :

**3. Release :**

Can be continuous or instant according to units and spill duration selected

Released Volume/Mass -or- Rate of Volume/Mass Release :

Release Duration :

**Εικόνα 2.3.7 : SpillSolver App - Διαρροή πετρελαίου**

Έπειτα συμπληρώνονται οι συντεταγμένες του ατυχήματος.



#### 4. Spill Coordinates :

Latitude :

Longitude :

Εικόνα 2.3.8 : SpillSolver App - Συντεταγμένες ατυχήματος

Τέλος ο χρήστης εισάγει στοιχεία που αφορούν τον εκβρασμό του πετρελαίου σε κάποια ακτή.

#### 5. Shore Stranding :

Click 'Calculate' before filling this form. In the page that appears (output page) go to the map, zoom in and click on the first red circle (oil spread area) that 'touches' shore. A pop up displaying the hour of stranding will appear. Press back on your browser and fill this form. Click 'Calculate' again for the final output.

Hour of Stranding : \*

Shore Lenth :

Shore Width :

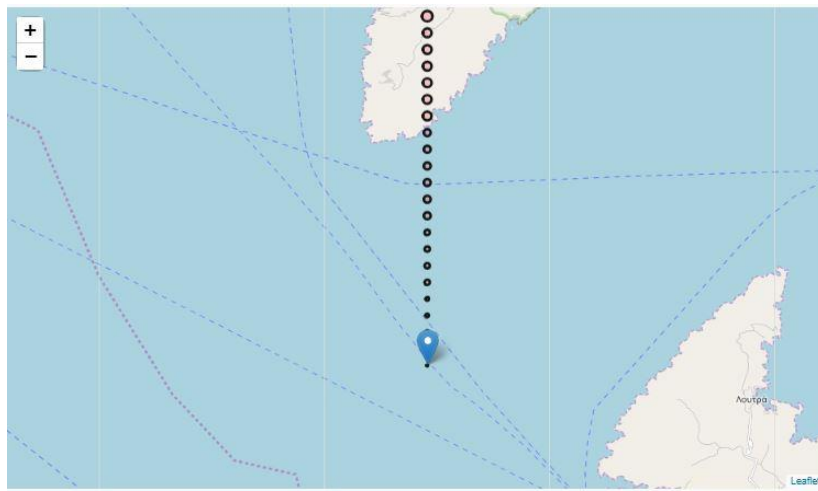
Shore Depth :

Calculate

Εικόνα 2.3.9 : SpillSolver App - Εκβρασμός πετρελαίου σε ακτή

Τα τρία τελευταία πεδία περιγράφουν τις διαστάσεις, σε μέτρα, της ακτής του εκβρασμού.

Για να συμπληρώσει το πρώτο πεδίο που αφορά την ώρα του εκβρασμού ο χρήστης αρχικά πρέπει να πατήσει το κομβίο 'Calculate' το οποίο θα τον οδηγήσει στην σελίδα των αποτελεσμάτων. Στη σελίδα αυτή ο χρήστης πρέπει να συμβουλευτεί το χάρτη στον οποίο εμφανίζεται η επιφάνεια του πετρελαίου με τη μορφή κύκλου για κάθε ένα τέταρτο της ώρας για κάθε ώρα της μελέτης.



Εικόνα 2.3.10 : SpillSolver App - Απεικόνιση σε Χάρτη

Αφού λοιπόν ο χρήστης εντοπίσει την επιφάνεια που 'αγγίζει' την ακτή για πρώτη φορά αρκεί να την επιλέξει και θα εμφανιστεί ένα παράθυρο που εμφανίζει σε ποια ώρα μελέτης αντιστοιχεί η επιφάνεια.

Ενδέχεται, όπως παρακάτω, να μην μπορούμε να υπολογίσουμε την ακριβή στιγμή του εκβρασμού στην ακτή, μπορούμε όμως να κάνουμε μία αρκετά καλή προσέγγιση.



Εικόνα 2.3.11 : SpillSolver App – Απεικόνιση σε Χάρτη

Στη συνέχεια πρέπει να πατήσει την εντολή 'Back' στον πλοηγό του και να συμπληρώσει την ώρα που εμφανίστηκε στη φόρμα.

A screenshot of the SpillSolver App interface showing the 'Hour of Stranding' input field. The field contains the value '3,75' and is highlighted with a blue border.

Εικόνα 2.3.12 : SpillSolver App - Ώρα Εκβρασμού στην Ακτή

Τέλος πατώντας το κομβίο 'Calculate' εμφανίζεται το τελικό παράθυρο των αποτελεσμάτων.

Με την επιλογή του κομβίου 'Calculate' πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί των διαδικασιών της γήρανσης και τα αποτελέσματα παρατίθενται στην σελίδα αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή πίνακα και διαγραμμάτων, ενώ τα αποτελέσματα που αφορούν την εξάπλωση της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας και τη μετατόπιση του κέντρου της εμφανίζονται και πάνω σε χάρτη.

Αρχικά, στην σελίδα αποτελεσμάτων εμφανίζεται μία λίστα με όλες τις παραμέτρους που εισήγαγε ο χρήστης στο πρόγραμμα, ώστε να βεβαιωθεί ότι όλες οι μεταβλητές είναι σωστά ορισμένες. Επισημαίνεται ότι όσον αφορά στο πετρέλαιο, πέρα από τον τύπο του (που επιλέγει ο χρήστης) αναφέρονται ακόμα η πυκνότητα και το ιξώδες του, ενώ όσον αφορά στον αέρα, η ταχύτητα του παρουσιάζεται και σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης από αυτές που επέλεξε ο χρήστης.

### User Input Data :

#### Oil

Type : Nigerian Light  
Density : 836.0 kg/cu m  
Viscosity : 2.82 cStokes

#### Wind

Speed : 8.0 kn = 3 beaufort = 4.1 m/s = 14.8 km/h  
Direction : North

#### Water

Temperature : 12 celcius  
Density : 1025 kg / cu m  
Salinity : 3.5 %  
Sediment Load : 5 mg / l  
Current Speed : 1.0 knots  
Current Direction : North

#### Release

Released Volume/Mass : 13000 ton  
Release Duration : 24 hours

Spill Coordinates : 24.297956 lat, 37.452444 lon

### Εικόνα 2.3.13 : SpillSolver App - Λίστα παραμέτρων

Στη συνέχεια ακολουθεί ένας συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει διάφορα μεγέθη σχετικά με τα αποτελέσματα της γήρανσης της πετρελαιοκηλίδας όπως αυτά προκύπτουν στο τέλος της κάθε μέρας για κάθε μία από τις πέντε μέρες της μελέτης.

#### 1. Data Table

	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5
Spilled Volume [cu.m]	15550.239	15550.239	15550.239	15550.239	15550.239
Remaining Volume [cu.m]	9897.617	9351.157	9028.318	8797.129	8616.209
Remaining Percentage	63.614	60.058	57.937	56.404	55.193
Evaporated Volume [cu.m]	5642.955	6180.796	6495.414	6718.638	6891.784
Evaporated Percentage	36.289	39.747	41.771	43.206	44.319
Dispersed Volume [cu.m]	9.668	18.286	26.508	34.472	42.246
Dispersed Percentage	0.098	0.195	0.293	0.39	0.488
Sedimentation Volume [cu.m]	5.561136e-07	1.1122272e-06	1.6683408e-06	2.2244544e-06	2.780568e-06
Emulsification Volume [cu.m]	7925.804	7925.804	7925.804	7925.804	7925.804
Emulsification Percentage	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Spreading Area [sq.km]	0.398	0.797	1.195	1.593	1.991
Drift Movement Distance [km]	55.116	110.231	165.347	220.462	275.578
Thickness [m]	0.024852	0.01174	0.007557	0.005522	0.004327
Density [kg/cu.m]	1020.471	1020.035	1019.781	1019.601	1019.461
Viscosity [cStokes]	187.044	187.048	187.048	187.048	187.048
Shore Stranding Maximum Volume [cu.m.]			0		

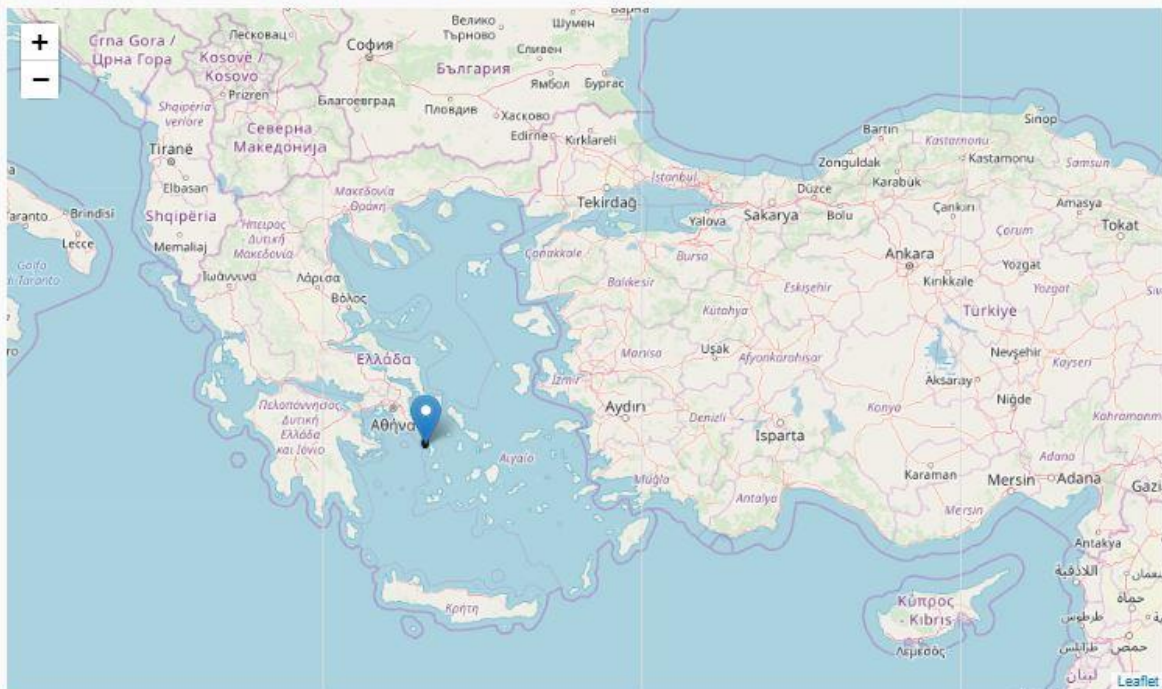
### Εικόνα 2.3.14 :SpillSolver App - Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Μετά τον συγκεντρωτικό πίνακα βλέπουμε την απεικόνιση της πετρελαιοκηλίδας σε ένα χάρτη, στον οποίο ο χρήστης μπορεί εύκολα να εστιάσει και να πλοηγηθεί.

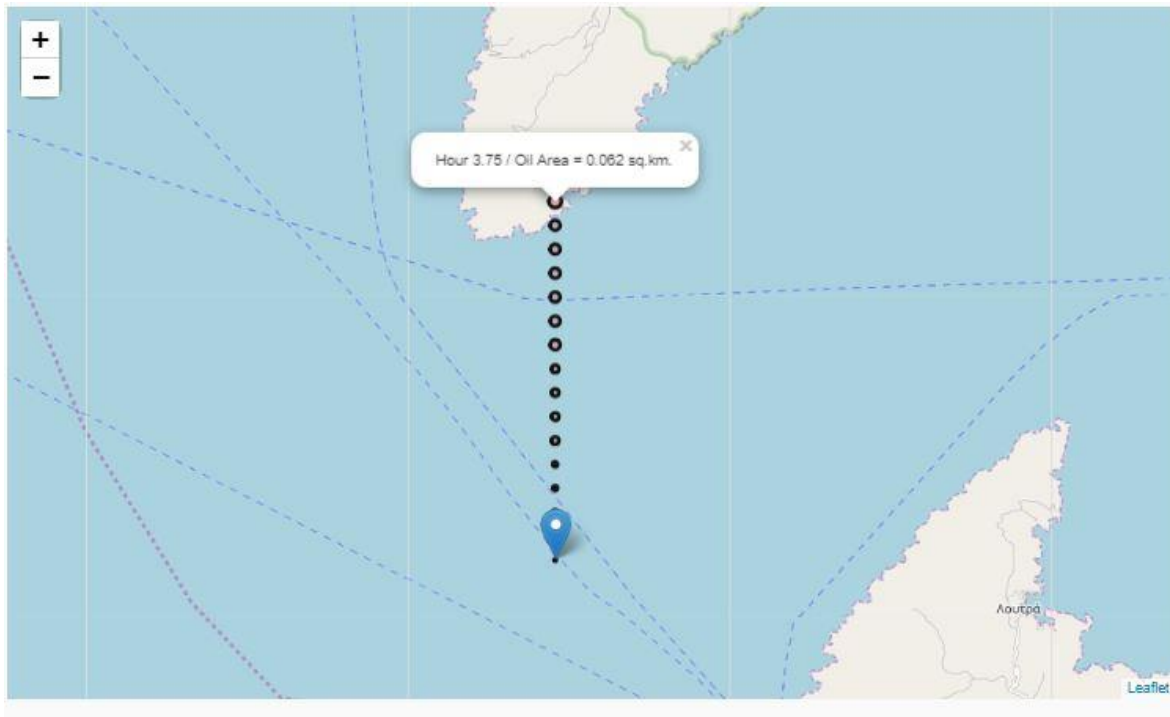
Ο γαλάζιος δείκτης δείχνει το σημείο στο οποίο γίνεται η διαρροή (σημείο του οποίου τις συντεταγμένες εισάγει ο χρήστης) ενώ οι κόκκινοι κύκλοι δείχνουν την εξάπλωση και μετατόπιση της πετρελαιοκηλίδας για κάθε ένα τέταρτο της ώρας, για κάθε ώρα μελέτης. Κάθε κύκλος έχει ακτίνα που προκύπτει βάσει της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας την αντίστοιχη ώρα. Επιλέγοντας τον κάθε κύκλο εμφανίζεται ένα παράθυρο που παρουσιάζει την ώρα μελέτης και την επιφάνεια σε τετραγωνικά χιλιόμετρα.

## 2. Map Preview

The spill is plotted as a circle with initial center the oil spill coordinates (marker location) and radius as it occurs from Fay's spreading area for every hour of the five days we study.



Εικόνα 2.3.15 : SpillSolver App - Απεικόνιση πετρελαιοκηλίδας



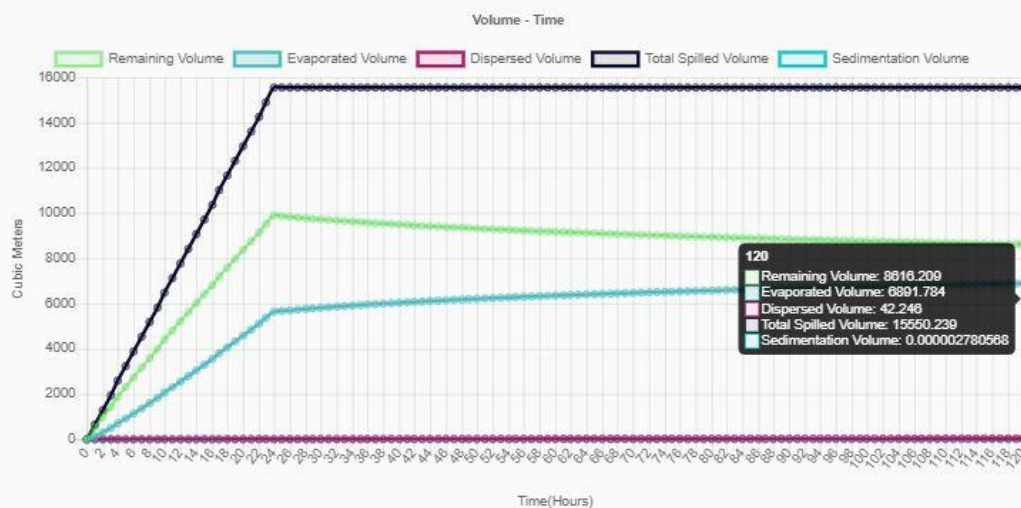
Εικόνα 2.3.16 : SpillSolver App - Εξάπλωση πετρελαιοκηλίδας

Στη συνέχεια ακολουθούν αναλυτικά διαγράμματα που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της γήρανσης για κάθε ώρα, για κάθε μία από τις πέντε μέρες μελέτης.

Στα διαγράμματα που παρουσιάζονται πάνω από ένα μεγέθη συναρτήσει του χρόνου ο χρήστης έχει τη δυνατότητα πόσα και ποια από αυτά τα μεγέθη θέλει να βλέπει ταυτόχρονα. Αυτό γίνεται εύκολα πατώντας με αριστερό 'κλικ' το όνομα του μεγέθους που θέλει να αφαιρέσει προσωρινά από το διάγραμμα. Μετακινώντας το 'ποντίκι' πάνω στο διάγραμμα εμφανίζονται οι τιμές όλων των μεγεθών του διαγράμματος στην αντίστοιχη ώρα.

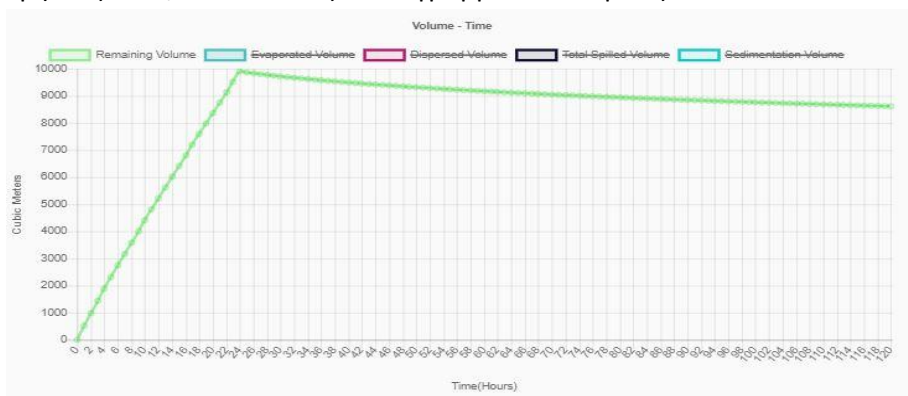
Το πρώτο διάγραμμα αποτελεσμάτων που βλέπει ο χρήστης, είναι το διάγραμμα όγκου-χρόνου. Παρουσιάζει τον συνολικό όγκο πετρελαίου που χύθηκε στη θάλασσα, τον παραμένοντα όγκο, τον όγκο που εξατμίστηκε, τον όγκο διασποράς και τον όγκο ιζηματοποίησης. Στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος υπάρχει ο χρόνος σε ώρες ενώ στον κατακόρυφο ο όγκος σε κυβικά μέτρα.

### 3. Data Graphs

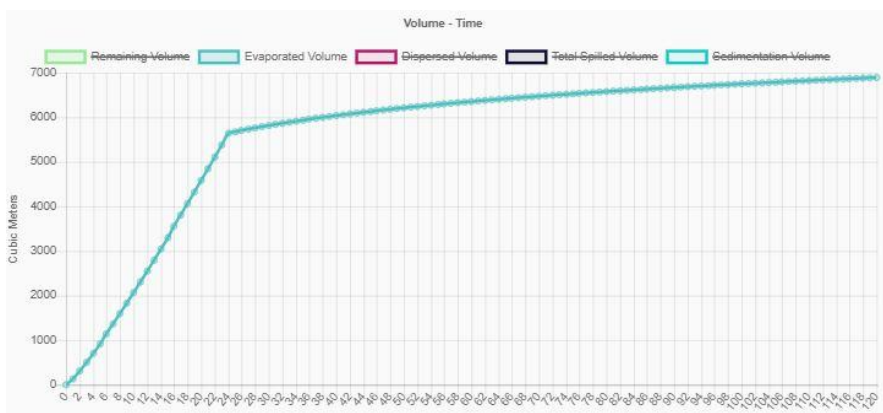


Εικόνα 2.3.17 : SpillSolver App - Διάγραμμα όγκου-χρόνου

Όπως προαναφέρθηκε ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ποια από τα μεγέθη θέλει να εμφανίζονται, καθιστώντας το διάγραμμα πιο ευκρινές.

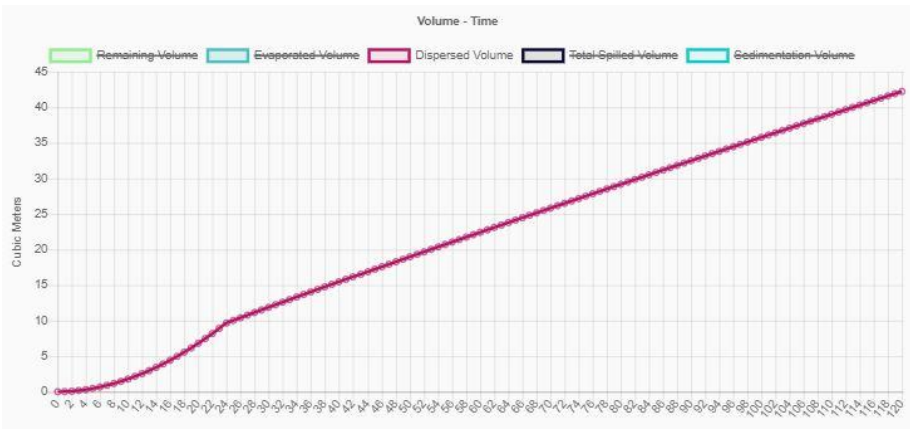


Εικόνα 2.3.18 : SpillSolver App – Εναπομένον Όγκος

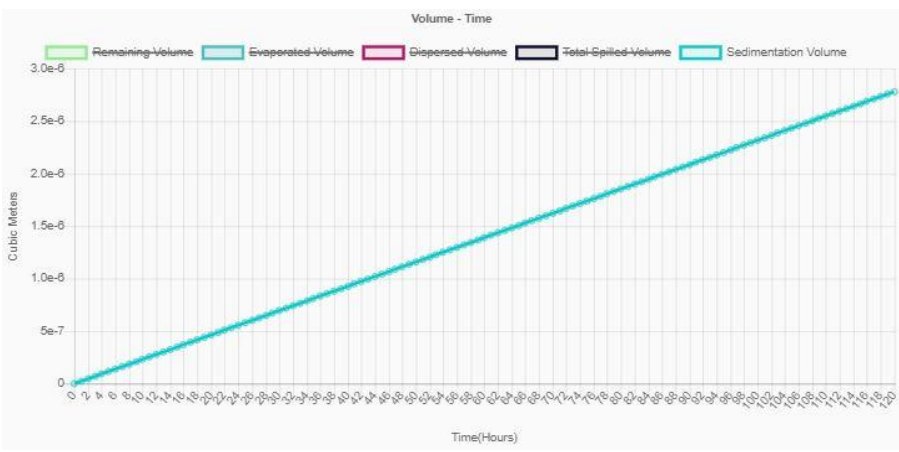


Εικόνα 2.3.19 : SpillSolver App – Όγκος Εξάτμισης



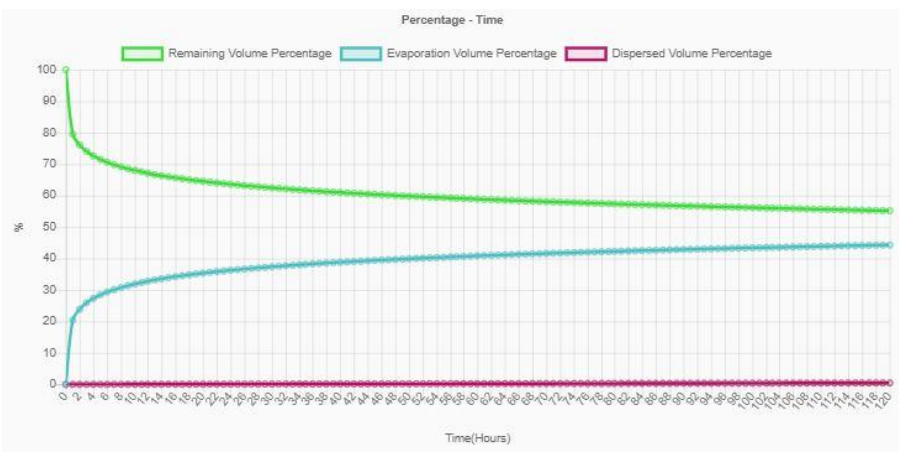


Εικόνα 2.3.20 : SpillSolver App – Όγκος Διασποράς



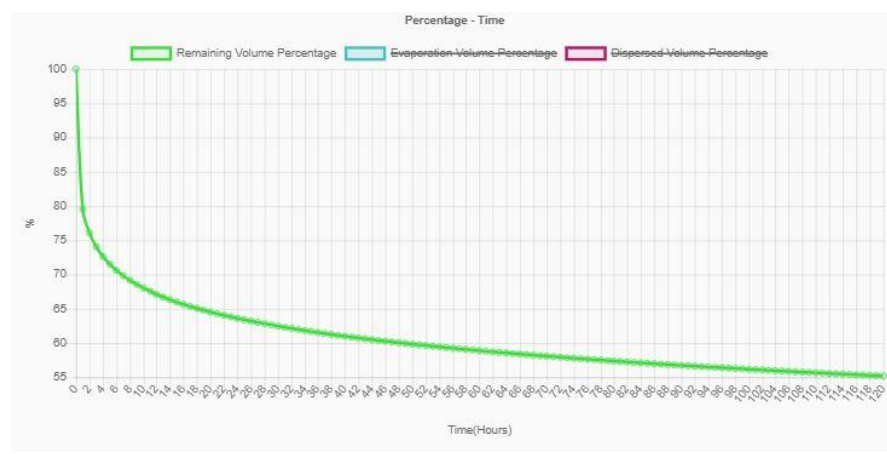
Εικόνα 2.3.21 : SpillSolver App – Όγκος Ιζηματοποίησης

Το δεύτερο διάγραμμα είναι το διάγραμμα ποσοστών-χρόνου, το οποίο σε αντιστοιχία με το πρώτο παρουσιάζει το ποσοστό εναπομείναντος όγκου πετρελαίου, το ποσοστό του όγκου εξάτμισης και το ποσοστό του όγκου διασποράς συναρτήσει του χρόνου.

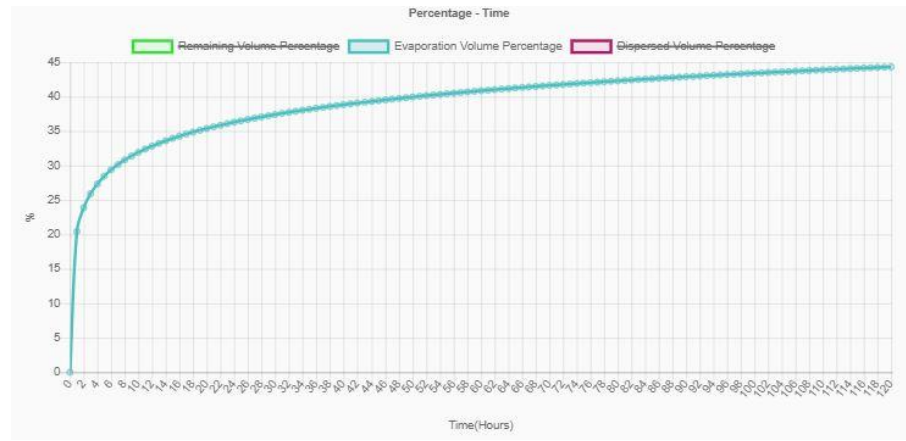


Εικόνα 2.3.23 : SpillSolver App - Διάγραμμα ποσοστών-χρόνου

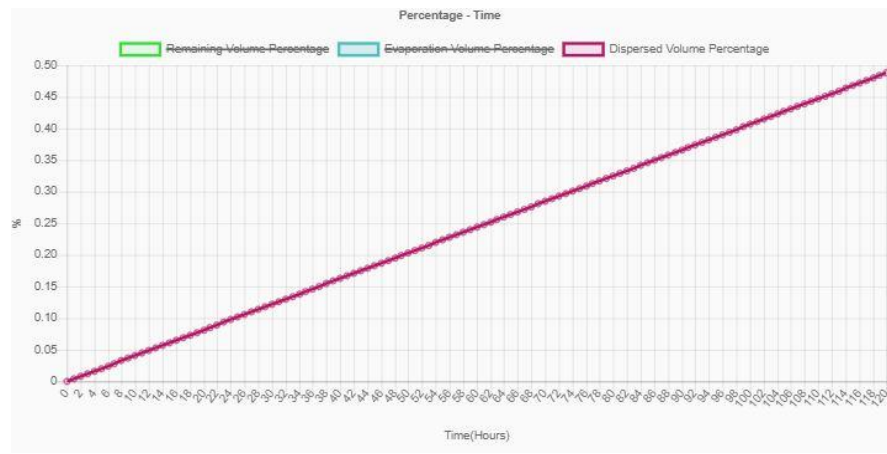
Και σε αυτή την περίπτωση μπορεί ο χρήστης να δει το κάθε ζητούμενο μέγεθος ξεχωριστά.



Εικόνα 2.3.24 : SpillSolver App – Ποσοστό πετρελαίου που παραμένει



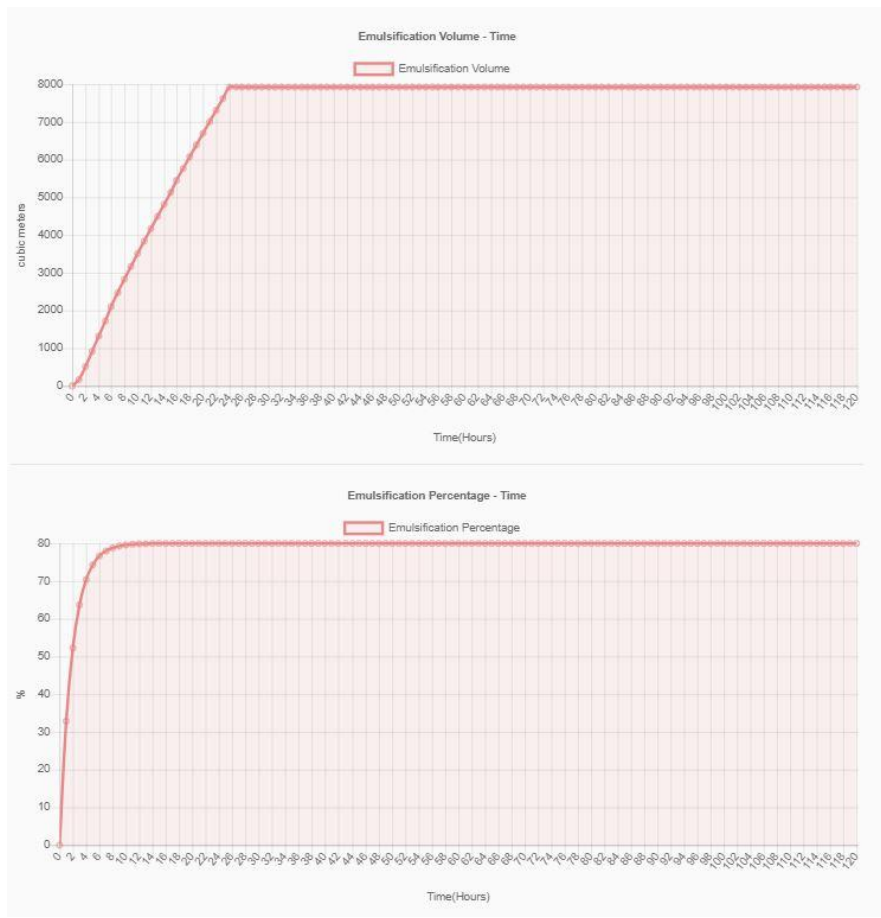
Εικόνα 2.3.25 : SpillSolver App – Ποσοστό εξάτμισης



Εικόνα 2.3.26 : SpillSolver App – Ποσοστό διασποράς



Τα επόμενα δύο διαγράμματα αφορούν τον όγκο και το ποσοστό της γαλακτωματοποίησης.



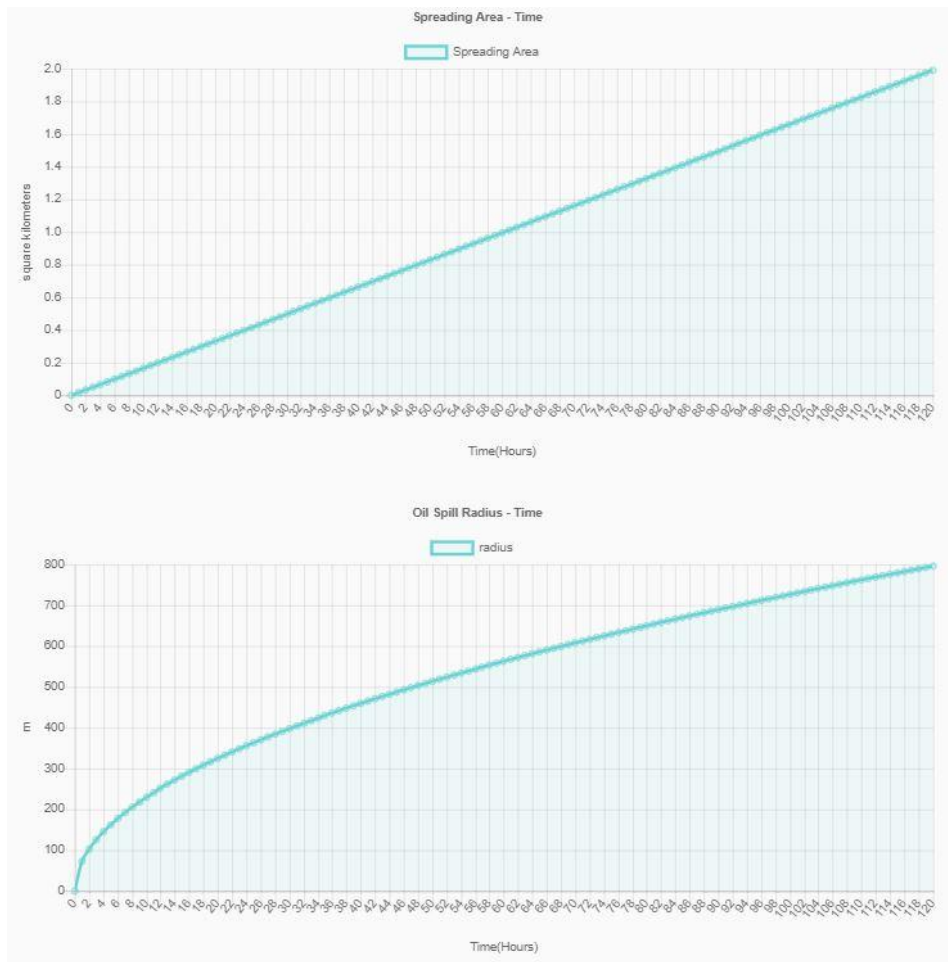
Εικόνα 2.3.27 : SpillSolver App – Διαγράμματα γαλακτωματοποίησης

Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα που περιγράφουν την μεταβολή της πυκνότητας και του ιξώδους του πετρελαίου συναρτήσει του χρόνου.



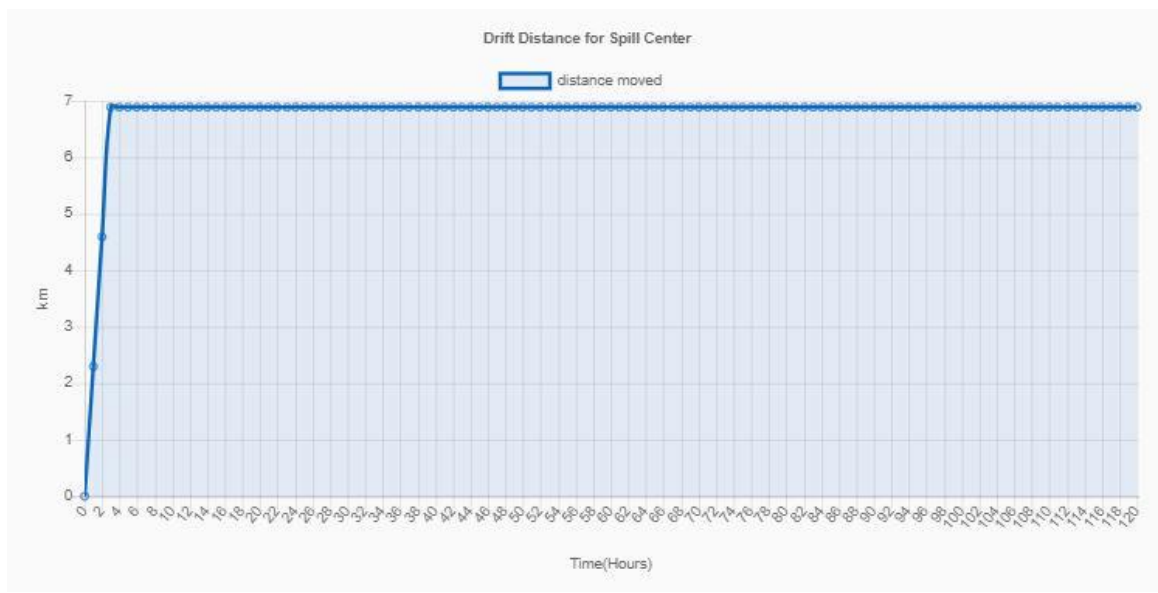
Εικόνα 2.3.28 : SpillSolver App – Διαγράμματα πυκνότητας και ιξώδους του πετρελαίου

Τα επόμενα δύο διαγράμματα περιγράφουν την εξάπλωση. Το πρώτο δείχνει την επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας σε τετραγωνικά μέτρα συναρτήσει του χρόνου και το δεύτερο την ακτίνα σε μέτρα, θεωρώντας την επιφάνεια εξάπλωσης κυκλική.



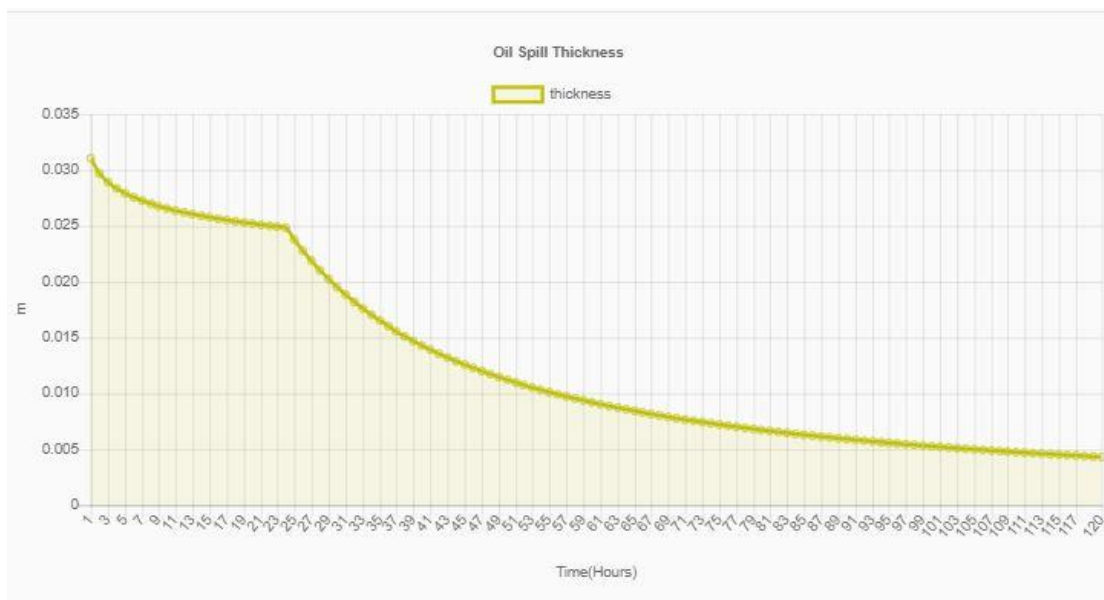
Εικόνα 2.3.29 : SpillSolver App – Διαγράμματα εξάπλωσης

Το επόμενο διάγραμμα παρουσιάζει την μετατόπιση του κέντρου της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας, σε χιλιόμετρα, συναρτήσει του χρόνου.



Εικόνα 2.3.30 : SpillSolver App – Διάγραμμα μέγιστης μετατόπισης του κέντρου επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας

Τέλος, το τελευταίο διάγραμμα που εμφανίζεται στην οθόνη αποτελεσμάτων περιγράφει την μεταβολή του πάχους της πετρελαιοκηλίδας σε μέτρα, συναρτήσει του χρόνου.



Εικόνα 2.3.31 : SpillSolver App – Διάγραμμα μεταβολής πάχους της πετρελαιοκηλίδας

## Κεφάλαιο 3

### Σύγκριση με άλλα προγράμματα και αξιολόγηση της εφαρμογής

#### 3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θεωρούνται διάφορα σενάρια πετρελαιοκηλίδων ώστε να δοθούν τα απαραίτητα συμπεράσματα για τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή SpillSolver App. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν θα συγκριθούν με τα αντίστοιχα που προκύπτουν από τα προγράμματα ADIOS 2 και SpillSolver 2.0.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά τα σενάρια που εξετάστηκαν.

Πίνακας 3.1.1 : Παράμετροι σεναρίων

Παράμετροι Σεναρίων Μελέτης				
Σενάριο	Διαρροή πετρελαίου	Τύπος πετρελαίου	Ταχύτητα ανέμου	Κατεύθυνση ανέμου
#1	13000 τόνοι για 24 ώρες = 542 τόνοι/ώρα	Sarir	8 (σταθερή)	N
#2		Sarir	30 (σταθερή)	S
#3		Sarir	51 (σταθερή)	SE
#4		Kuwait	8 (σταθερή)	N
#5	200 τόνοι	Sarir	8 (σταθερή)	NW
#6		Sarir	51 (σταθερή)	SW

Όσον αφορά στις παραμέτρους που δεν αναφέρονται στον πίνακα, θεωρήθηκαν ως εξής: θερμοκρασία νερού=12° C, αλατότητα=3.5%, sediment load=5%, ταχύτητα ρεύματος νερού=0.6 knots

Για την επαλήθευση της ορθής λειτουργίας του SpillSolver App έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων, για τα διάφορα σενάρια διαρροών, με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα προγράμματα SpillSolver 2.0 και ADIOS 2.

## 3.2 Σενάριο 1<sup>ο</sup>

Οι παράμετροι που εφαρμόστηκαν είναι:

<b>User Input Data :</b>
<b>Oil</b>
Type : Sarir
Density : 833.0 kg/cu m
Viscosity : 3.62 cStokes
<b>Wind</b>
Speed : 8.0 kn = 3 beaufort = 4.1 m/s = 14.8 km/h
Direction : North
<b>Water</b>
Temperature : 12 celcius
Density : 1025 kg / cu m
Salinity : 3.5 %
Sediment Load : 5 mg / l
Current Speed : 0.6 knots
Current Direction : NorthWest
<b>Release</b>
Released Volume/Mass : 13000 ton
Release Duration : 24 hours
Spill Coordinates : 24.297956 lat, 37.452444 lon

Εικόνα 3.2.1 – Παράμετροι σεναρίου 1

Ακολουθούν συνοπτικά τα αριθμητικά αποτελέσματα της εφαρμογής

	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5
Spilled Volume [cu.m]	15606.242	15606.242	15606.242	15606.242	15606.242
Remaining Volume [cu.m]	11789.133	11415.606	11192.889	11031.98	10904.973
Remaining Percentage	75.517	73.096	71.638	70.576	69.73
Evaporated Volume [cu.m]	3805.595	4168.314	4380.491	4531.033	4647.802
Evaporated Percentage	24.385	26.709	28.069	29.033	29.782
Dispersed Volume [cu.m]	11.515	22.323	32.863	43.23	53.468
Dispersed Percentage	0.098	0.195	0.293	0.39	0.488
Sedimentation Volume [cu.m]	0.0028	0.0056	0.0083	0.0111	0.0139
Emulsification Volume [cu.m]	9431.278	9431.278	9431.278	9431.278	9431.278
Emulsification Percentage	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Spreading Area [sq.km]	0.305	0.611	0.916	1.222	1.527
Drift Movement Distance [km]	35.034	70.067	105.101	140.134	175.168
Thickness [m]	0.03859	0.018683	0.012213	0.009028	0.007139
Density [kg/cu.m]	1021.956	1021.664	1021.493	1021.372	1021.278
Viscosity [cStokes]	240.106	240.112	240.112	240.112	240.112
Shore Stranding Maximum Volume [cu.m.]			0		

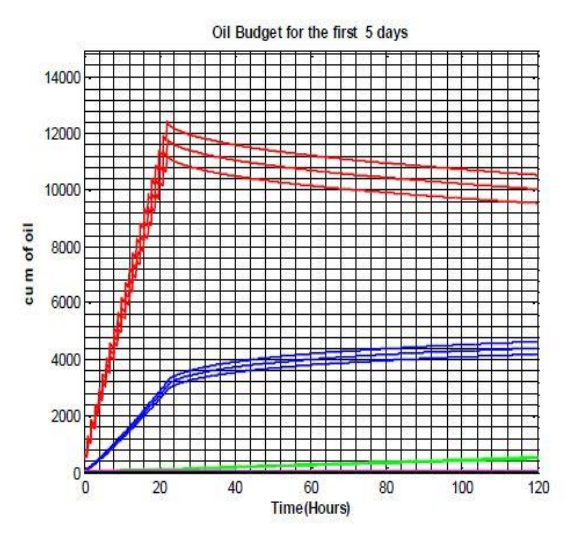
Εικόνα 3.2.2 – συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

➤ **Συνολικό διάγραμμα όγκων:**

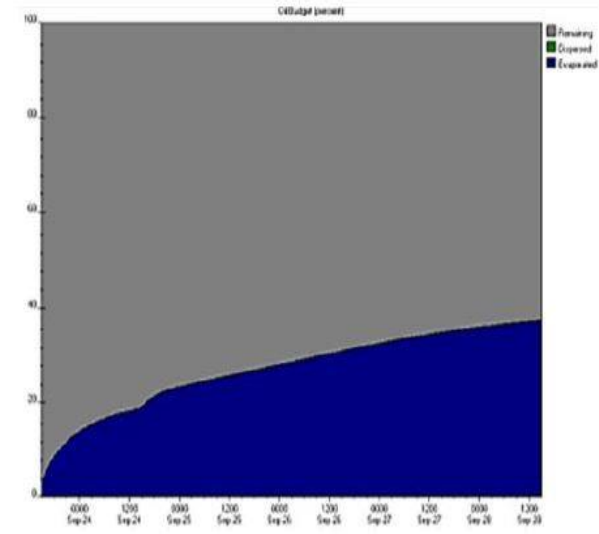
Ακολουθεί το συνολικό διάγραμμα όγκων όπως προκύπτει από το κάθε πρόγραμμα:



Εικόνα 3.2.3 : Διάγραμμα όγκων / SpillSolver App



Εικόνα 3.2.5 : Διάγραμμα όγκων / SpillSolver 2.0

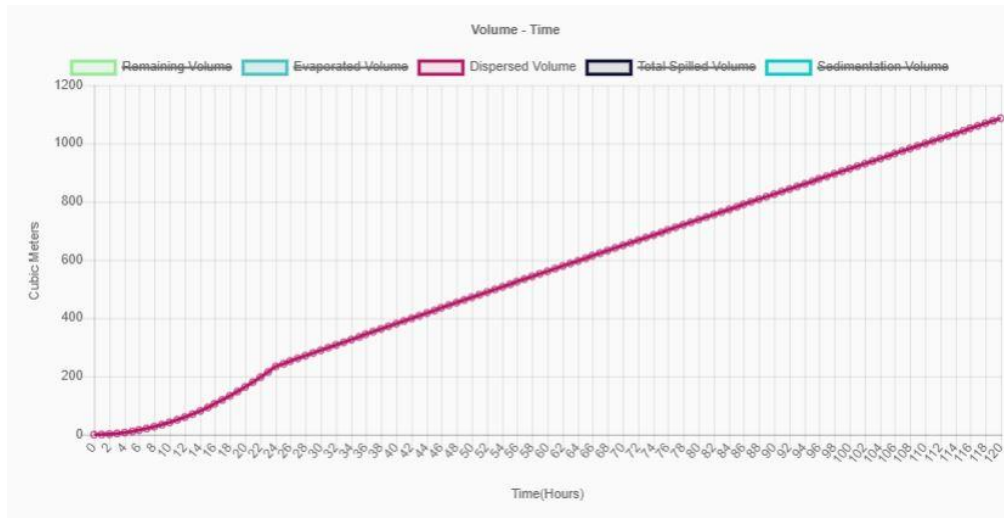


Εικόνα 3.2.4 : Διάγραμμα όγκων / ADIOS 2

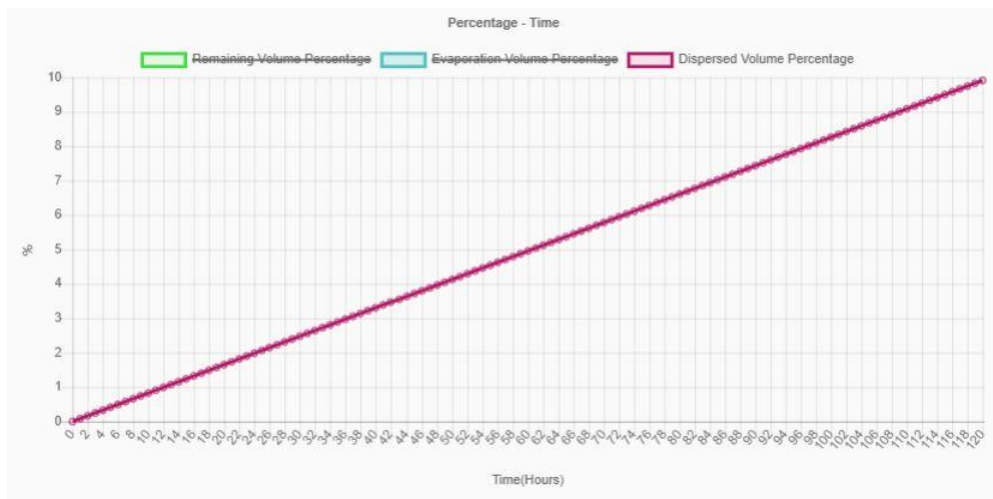
Και τα τρία διαγράμματα έχουν παρόμοια μορφή, στην οποία γίνεται εμφανής η συνεχής διαρροή πετρελαίου για τις πρώτες 24 ώρες.

## ➤ Διασπορά

Ακολουθούν τα διαγράμματα: όγκου διασποράς – χρόνου, ποσοστού διασποράς – χρόνου, του SpillSolver App, το διάγραμμα ποσοστού διασποράς – χρόνου του ADIOS 2 και το διάγραμμα όγκου διασποράς – χρόνου του SpillSolver 2.0.

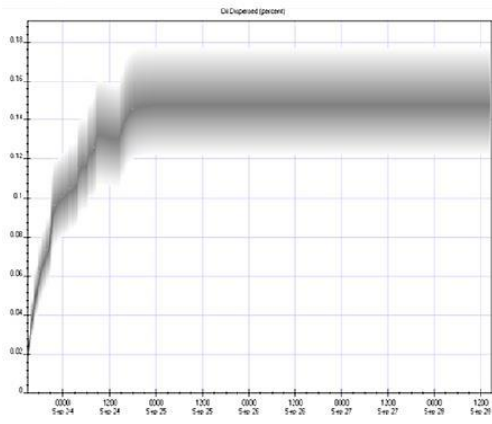


Εικόνα 3.2.6 : Διάγραμμα όγκου διασποράς / SpillSolver App

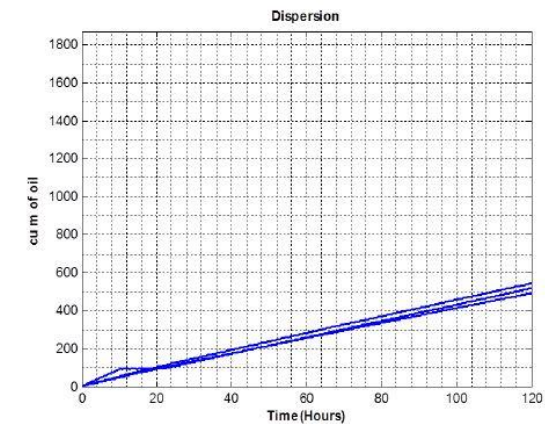


Εικόνα 3.2.7 : Διάγραμμα ποσοστού διασποράς / SpillSolver App





Εικόνα 3.2.8 : Διάγραμμα ποσοστού διασποράς / ADIOS 2



Εικόνα 3.2.9 : Διάγραμμα όγκου διασποράς / SpillSolver 2.0

Παρατηρούμε ότι οι καμπύλες που προκύπτουν από τα SpillSolver App, SpillSolver 2.0 είναι γραμμικές ως προς το χρόνο, εμφανίζοντας σταθερό ρυθμό διασποράς, ενώ η καμπύλη που προκύπτει από το ADIOS 2 παρουσιάζει στις πρώτες ώρες της μελέτης μεγάλο ρυθμό διασποράς, ο οποίος στη συνέχεια σταθεροποιείται.

Οι τιμές του ποσοστού διασποράς στο τέλος της πέμπτης μέρας, για το κάθε πρόγραμμα είναι:

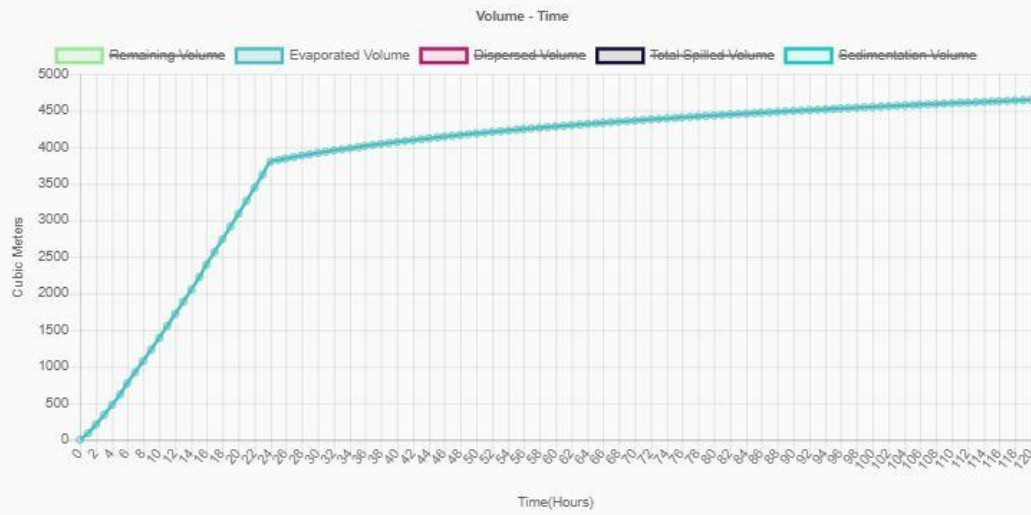
Πίνακας 3.2.1 : Ποσοστά διασποράς

SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
0.244%	3.44%	0.15%

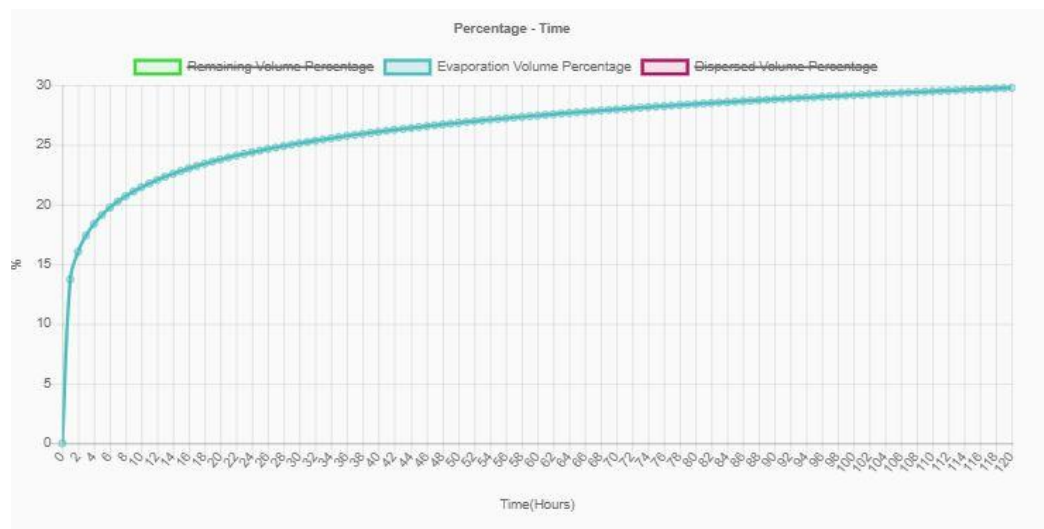
Παρατηρούμε ότι οι τιμές και των τριών προγραμμάτων είναι διαφορετικές. Οι τιμές των SpillSolver App, Adios 2 έχουν μικρότερη απόκλιση μεταξύ τους σε σχέση με το SpillSolver 2.0, το οποίο φαίνεται στο συγκεκριμένο σενάριο να υπερεκτιμά το ποσοστό της διασποράς του πετρελαίου.

### ➤ Εξάτμιση

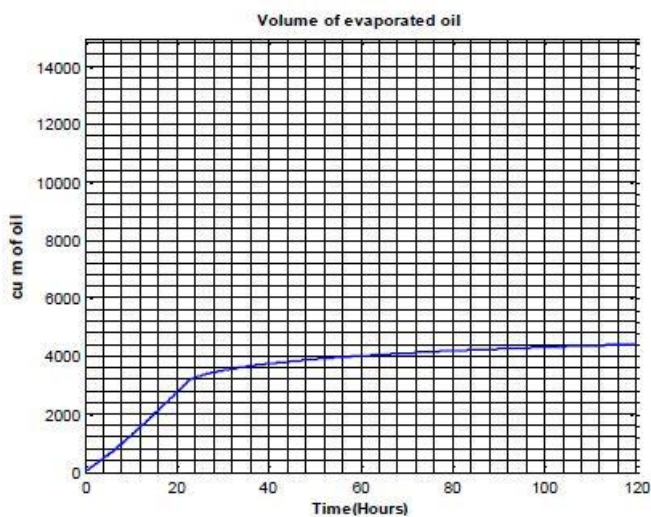
Ακολουθούν τα διαγράμματα όγκου εξάτμισης – χρόνου και ποσοστού εξάτμισης – χρόνου, όπως αυτά προκύπτουν από τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0 και το διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης – χρόνου όπως προκύπτει από το ADIOS 2.



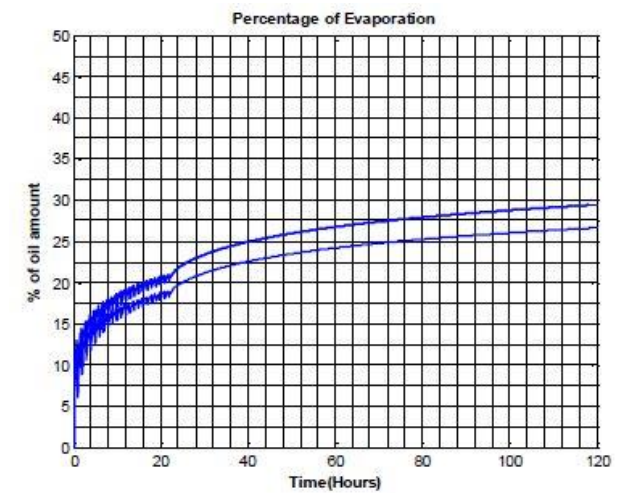
Εικόνα 3.2.10 : Διάγραμμα όγκου εξάτμισης / SpillSolver App



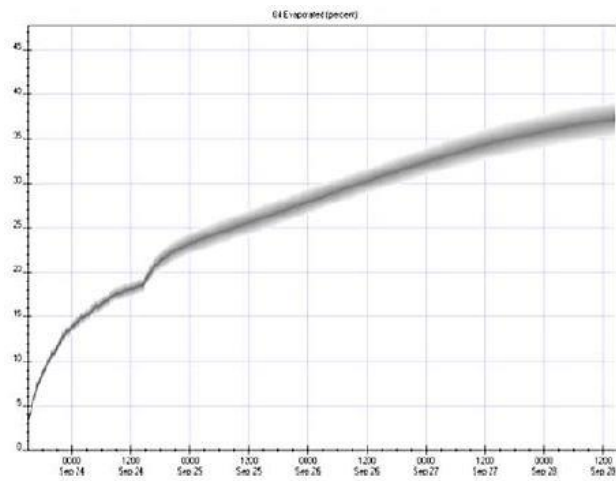
Εικόνα 3.2.11 : Διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης / SpillSolver App



Εικόνα 3.2.12 : Διάγραμμα όγκου εξάτμισης / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.2.13 : Διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.2.14 : Διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης / ADIOS 2

Το SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App εξάγουν αποτελέσματα τόσο για τον όγκο όσο και για το ποσοστό εξάτμισης, ενώ το ADIOS 2 μόνο για το ποσοστό εξάτμισης. Οι αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν είναι:

Πίνακας 3.2.2 : Ποσοστά εξάτμισης

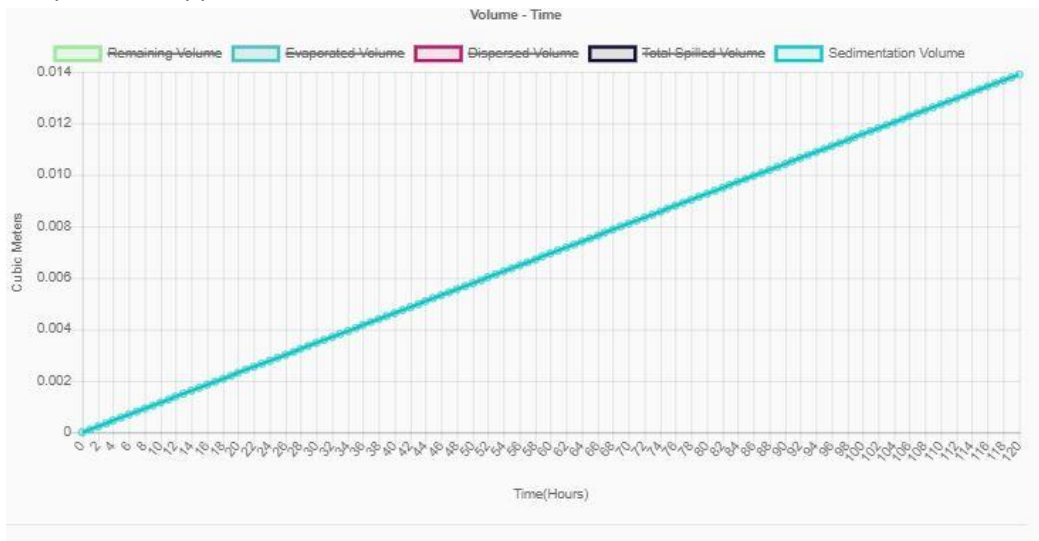
SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
29.78%	29.45%	36%

Παρατηρούμε ότι και τα τρία προγράμματα παράγουν διαγράμματα ίδιας μορφής, δείχνοντας ότι τις πρώτες 24 ώρες ο ρυθμός εξάτμισης είναι μεγαλύτερος.

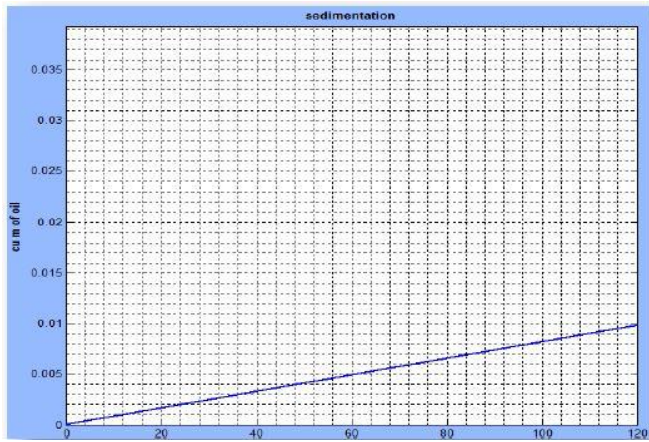
Οι τιμές του ποσοστού εξάτμισης που προκύπτουν από τα SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App είναι σχεδόν ίσες, ενώ η αντίστοιχη τιμή που προκύπτει από το ADIOS 2 είναι λίγο μεγαλύτερη.

## ➤ Ιζηματοποίηση

Ακολουθούν τα διαγράμματα του όγκου ιζηματοποίησης όπως προκύπτουν από τα SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App.



Εικόνα 3.2.15 : Διάγραμμα όγκου ιζηματοποίησης / SpillSolver App



Εικόνα 3.2.16 : Διάγραμμα όγκου ιζηματοποίησης / SpillSolver 2.0

Παρατηρούμε ότι τα δύο διαγράμματα έχουν παρόμοια μορφή.

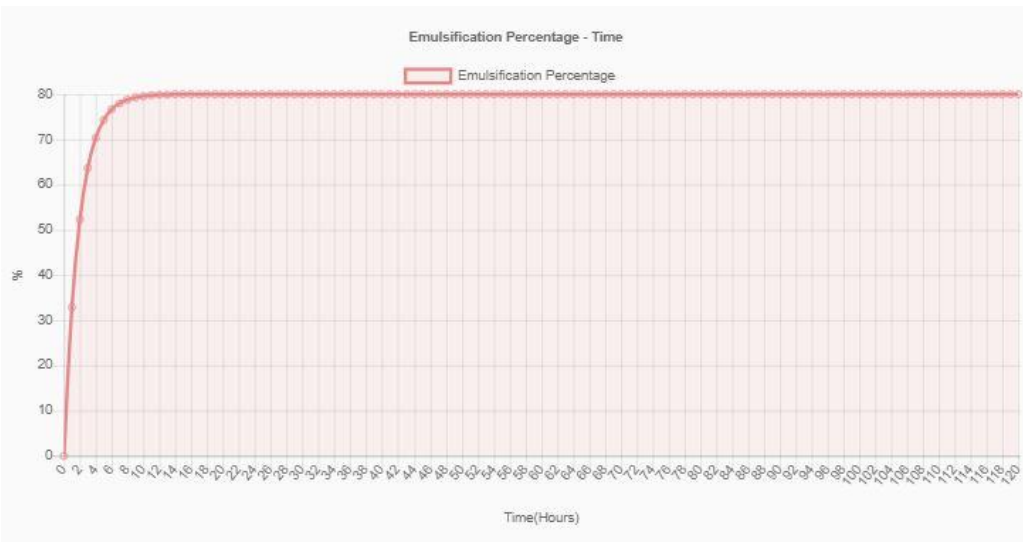
Ο όγκος ιζηματοποίησης στο τέλος της πέμπτης μέρας μελέτης όπως προέκυψαν από τα δύο προγράμματα είναι:

Πίνακας 3.2.3 : Όγκος ιζηματοποίησης

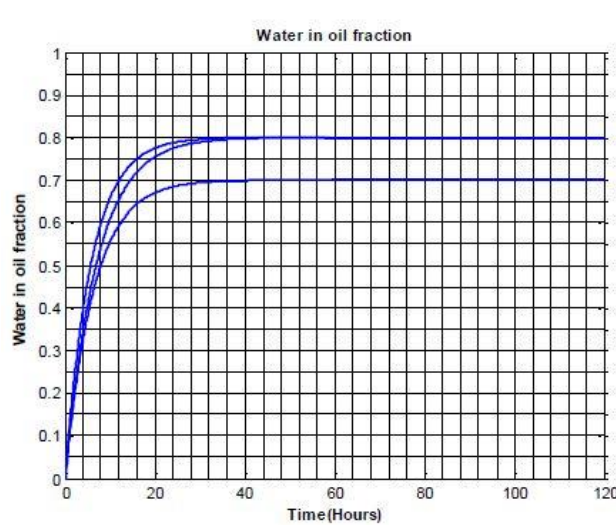
SpillSolver App	SpillSolver 2.0
0.0139 m <sup>3</sup>	0.01 m <sup>3</sup>

## ➤ Γαλακτωματοποίηση

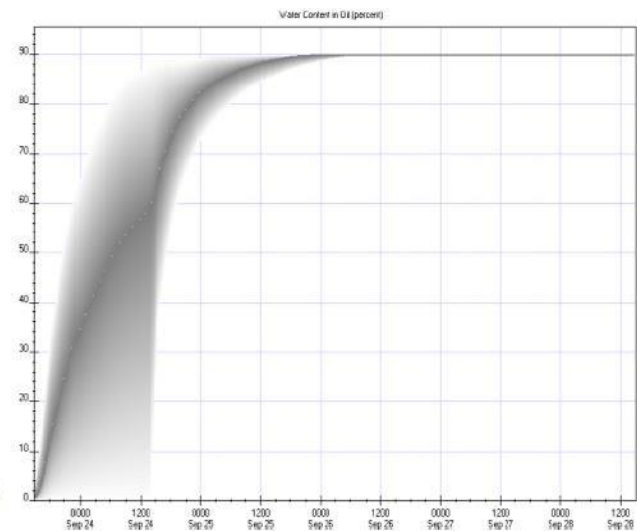
Ακολουθούν τα διαγράμματα ποσοστού γαλακτωματοποίησης – χρόνου, όπως αυτά προκύπτουν για το κάθε ένα από τα τρία προγράμματα:



Εικόνα 3.2.17 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / SpillSolver App



Εικόνα 3.2.18 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.2.19 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / ADIOS 2

Παρατηρούμε ότι και από τα τρία προγράμματα προκύπτουν καμπύλες παρόμοιας μορφής. Το ποσοστό γαλακτωματοποίησης που προκύπτει είναι:

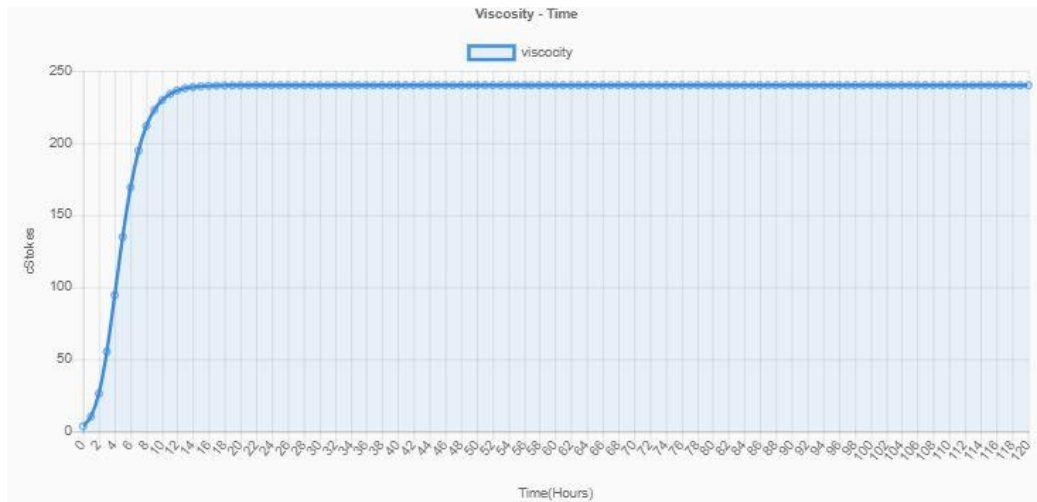
Πίνακας 3.2.4 : Ποσοστά γαλακτωματοποίησης

SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
80%	70 - 80%	90%

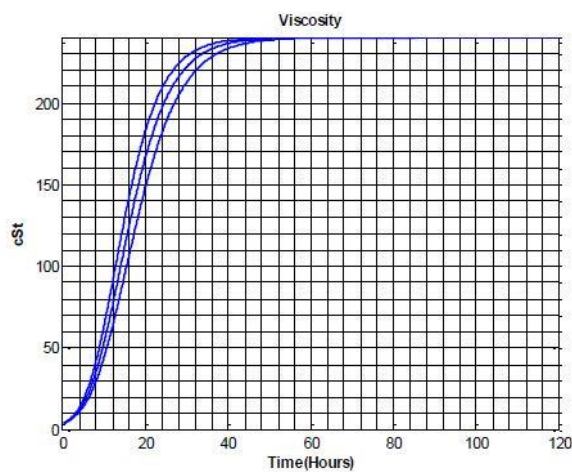
Η τελική τιμή της τιμής του ποσοστού της γαλακτωματοποίησης έχει μία αβεβαιότητα της τάξης του 10 %.

## ➤ Ιξώδες Πετρελαίου

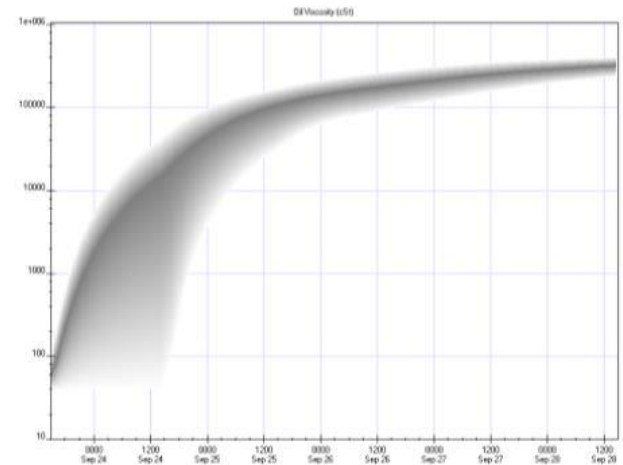
Παρατίθενται παρακάτω οι καμπύλες αύξησης του ιξώδους του πετρελαίου όπως προκύπτουν για κάθε ένα από τα τρία προγράμματα:



Εικόνα 3.2.20 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / SpillSolver App



Εικόνα 3.2.21 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.2.22 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / ADIOS 2

Παρατηρούμε ότι και οι τρεις καμπύλες είναι της ίδιας μορφής και η τιμή του ιξώδους σταθεροποιείται περίπου μετά από τον ίδιο αριθμό ωρών.

Οι τιμές του ιξώδους που προκύπτουν από το κάθε πρόγραμμα είναι:

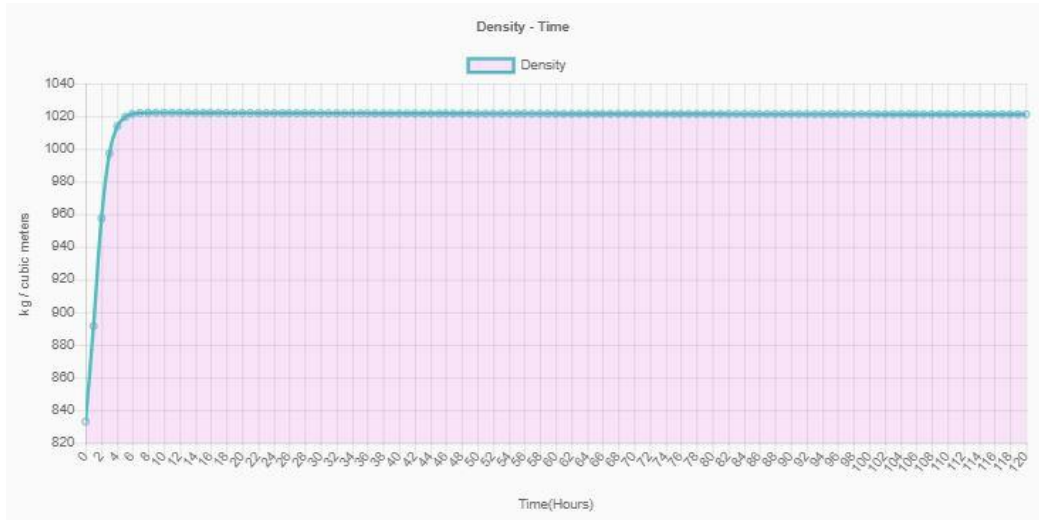
Πίνακας 3.2.5 : Τιμές ιξώδους

SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
240.112	290	100000

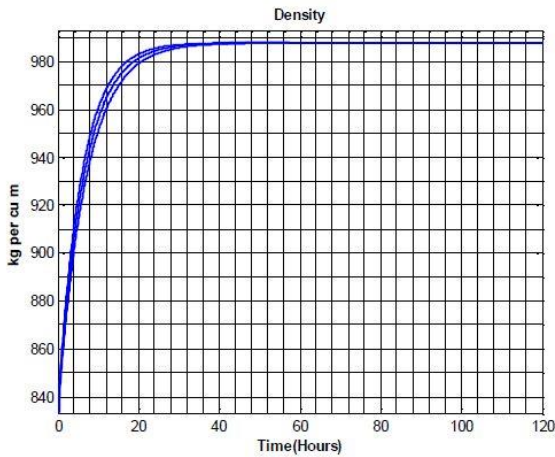
Εδώ λοιπόν φαίνεται ότι τα SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App υποεκτιμούν σημαντικά την αύξηση του ιξώδους σε σχέση με το ADIOS 2.



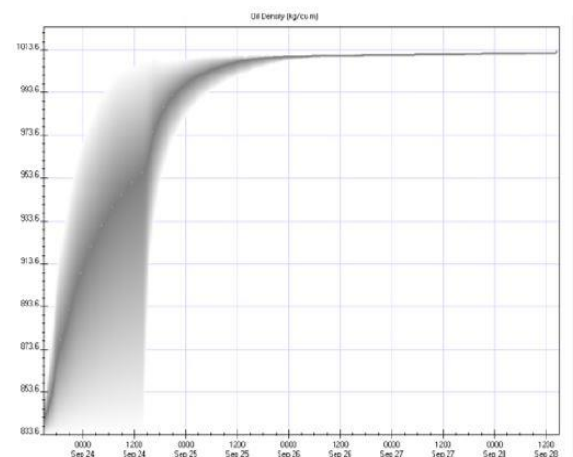
➤ Πυκνότητα Πετρελαίου



Εικόνα 3.2.23 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / SpillSolver App



Εικόνα 3.2.24 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.2.25 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / ADIOS 2

Παρατηρούμε ότι και στα τρία διαγράμματα η τιμή της πυκνότητας μεταβάλεται με τον ίδιο περίπου ρυθμό και ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά. Η τιμή της πυκνότητας όπως προκύπτει μετά από πέντε μέρες μελέτης είναι:

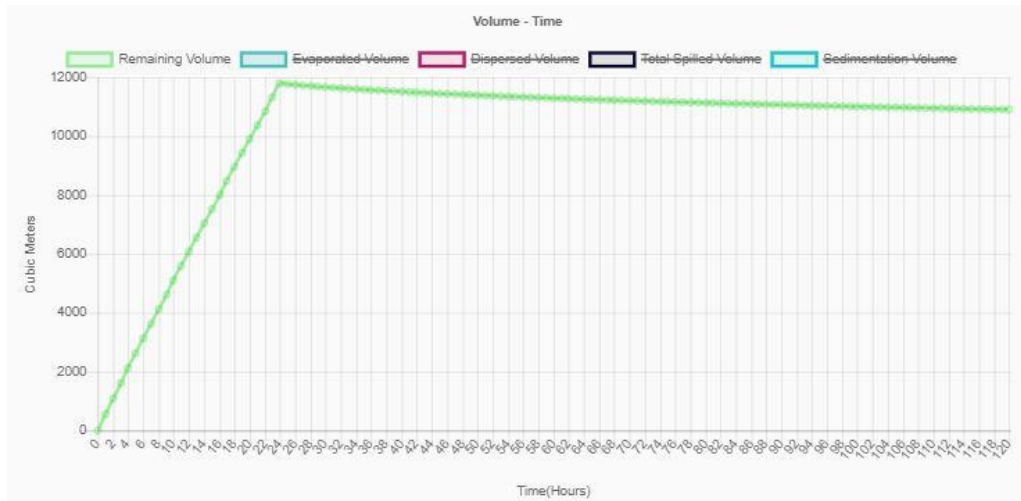
Πίνακας 3.2.6 : Τιμές πυκνότητας

SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
1021.28	990	1013.6

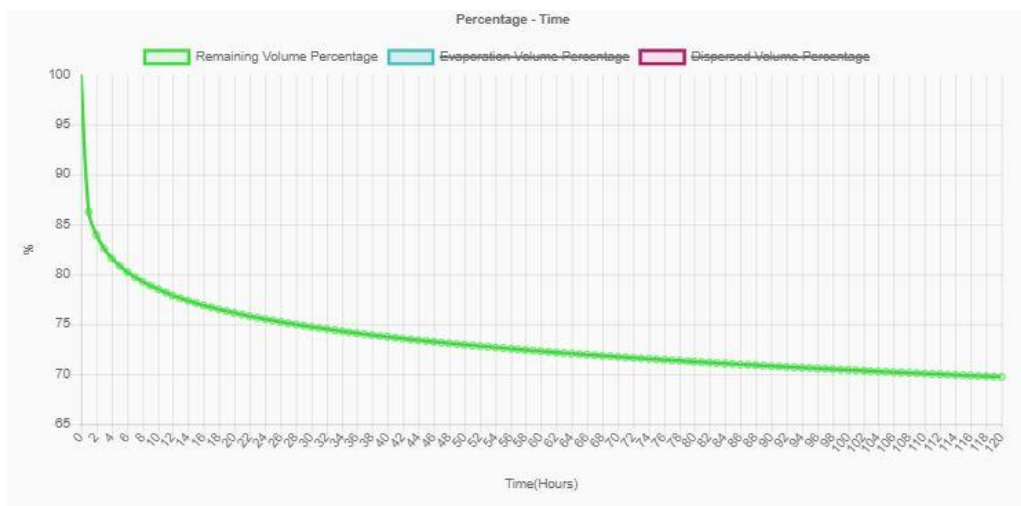
Οι τιμές είναι πολύ κοντά και το αποτέλεσμα θεωρείται αξιόπιστο.

### ➤ Εναπομένον Όγκος Πετρελαίου

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα του όγκου του πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα συναρτήσει του χρόνου που προκύπτουν από τα SpillSolver App, SpillSolver 2.0 καθώς και τα διαγράμματα του αντίστοιχου ποσοστού που προκύπτουν από τα SpillSolver App, ADIOS 2.

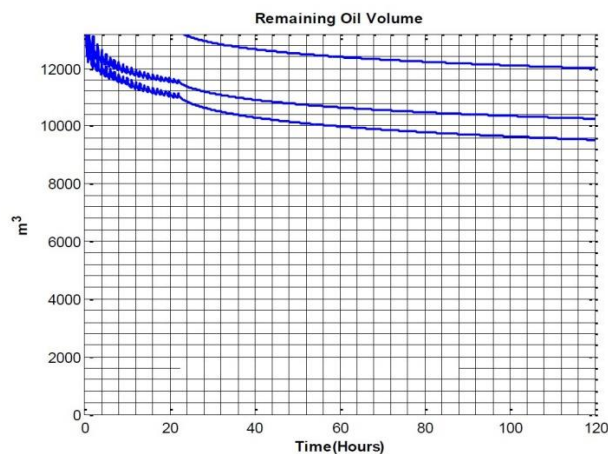


Εικόνα 3.2.26 : Διάγραμμα όγκου πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / SpillSolver App

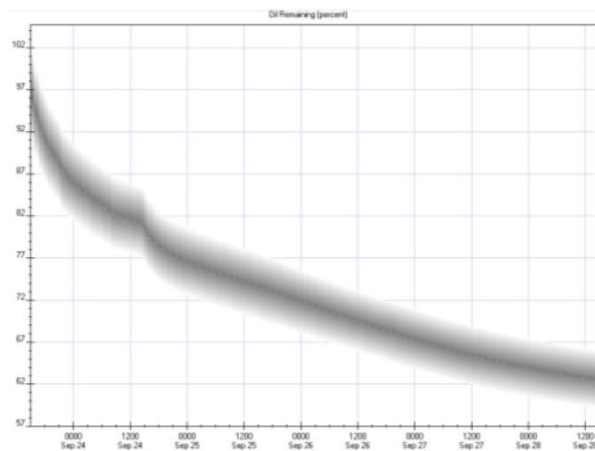


Εικόνα 3.2.27 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα/ SpillSolver App





Εικόνα 3.2.28 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.2.29 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / ADIOS 2

Παρατηρούμε ότι όλες οι καμπύλες παρουσιάζουν παρόμοια μορφή.

Οι τιμές που προκύπτουν για το τέλος της πέμπτης μέρας μελέτης συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες:

Όγκος πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα [m<sup>3</sup>]:

Πίνακας 3.2.7: Όγκος πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα

SpillSolver App	SpillSolver 2.0
10904.973	9500-12000

Παρατηρείται ότι οι τιμές είναι πολύ κοντά για τα δύο προγράμματα.

Ποσοστό όγκου πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα [m<sup>3</sup>]:

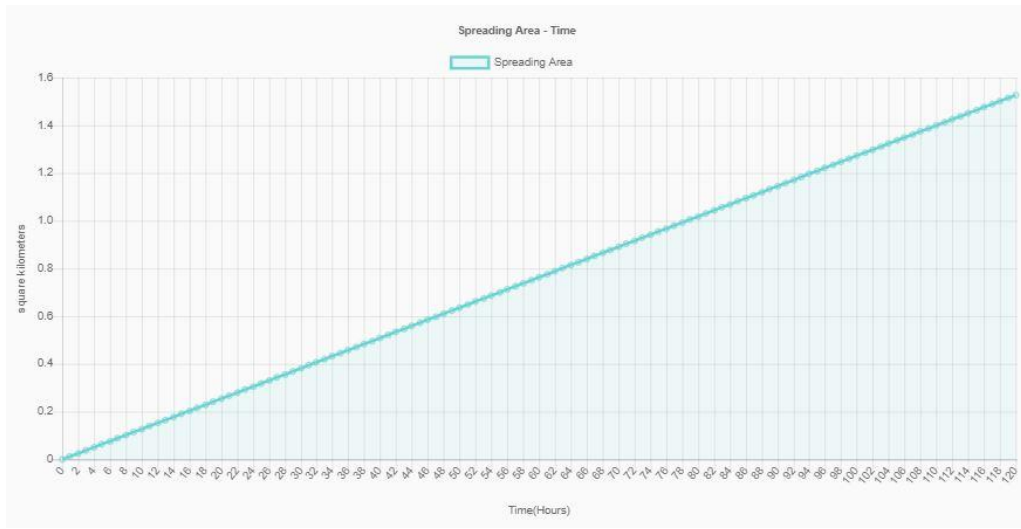
Πίνακας 3.2.8: Ποσοστό όγκου πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα

SpillSolver App	ADIOS 2
69,73 %	62 %

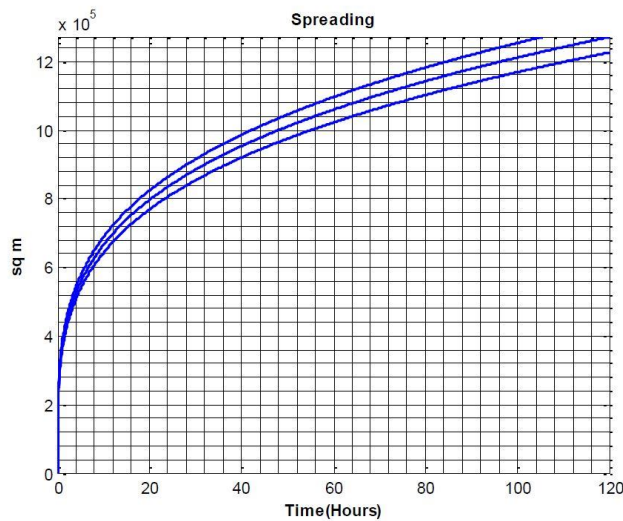
Παρατηρείται ότι το ADIOS 2 δίνει μικρότερο ποσοστό από το SpillSolver App. Η διαφορά αυτή οφείλεται στη διαφορά του ποσοστού εξάτμισης, το οποίο είναι μεγαλύτερο για το το ADIOS 2.

## ➤ Εξάπλωση

Παρουσιάζονται τα διαγράμματα της εξάπλωσης της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει του χρόνου, όπως αυτά προκύπτουν από τα SpillSolver App, SpillSolver 2.0.



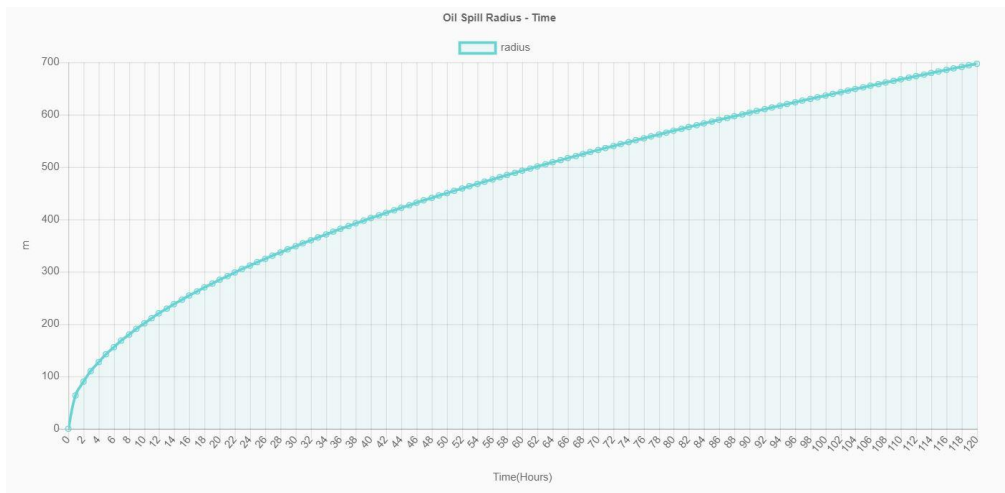
Εικόνα 3.2.30 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver App



Εικόνα 3.2.31 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver 2.0

Η καμπύλη που προκύπτει από το SpillSolver App είναι γραμμική ως προς το χρόνο ενώ αυτή που προκύπτει από το SpillSolver 2.0 δείχνει μεγαλύτερο ρυθμό εξάπλωσης για τις πρώτες ώρες μελέτης. Οι τιμές που προκύπτουν για την πέμπτη μέρα μελέτης είναι 1.527 τετραγωνικά χιλιόμετρα για το SpillSolver App και 1.2 τετραγωνικά χιλιόμετρα για το SpillSolver 2.0. Παρατηρούμε ότι όσο περνάνε οι ώρες η αβεβαιότητα για την τελική επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας αυξάνεται.

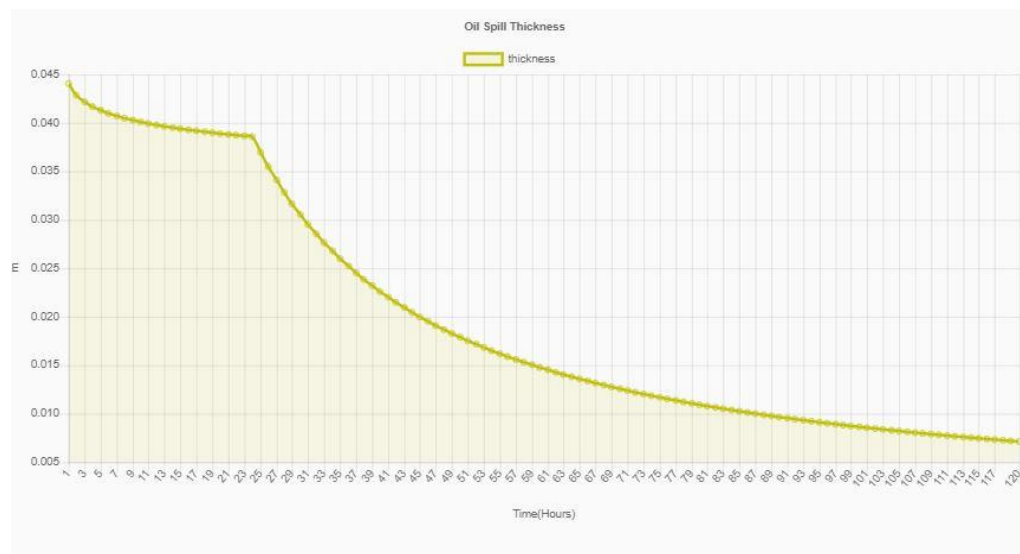
Το SpillSolver App εξάγει και ένα διάγραμμα της ακτίνας της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας θεωρώντας την ως κυκλική :



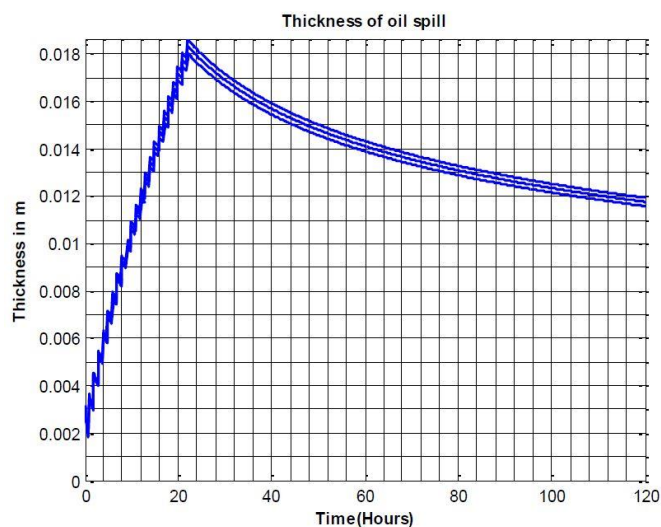
Εικόνα 3.2.32 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver App

### ➤ Πάχος πετρελαιοκηλίδας

Παρουσιάζονται τα διαγράμματα του πάχους της πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει του χρόνου όπως προκύπτουν από τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0.



Εικόνα 3.2.33 : Διάγραμμα πάχους επιφάνειας πετρελαίου – χρόνου / SpillSolver App



Εικόνα 3.2.34 : Διάγραμμα πάχους επιφάνειας πετρελαίου / SpillSolver 2.0

Παρατηρούμε ότι η μορφή των δύο καμπυλών δεν είναι ίδια. Στο πρώτο διάγραμμα βλέπουμε το πάχος να μειώνεται με μικρό ρυθμό, όσο το πετρέλαιο διαρρέει ακόμα και στη συνέχεια μειώνεται με μεγαλύτερο ρυθμό, ενώ στο δεύτερο διάγραμμα το πάχος αρχικά αυξάνεται και στη συνέχεια μειώνεται.

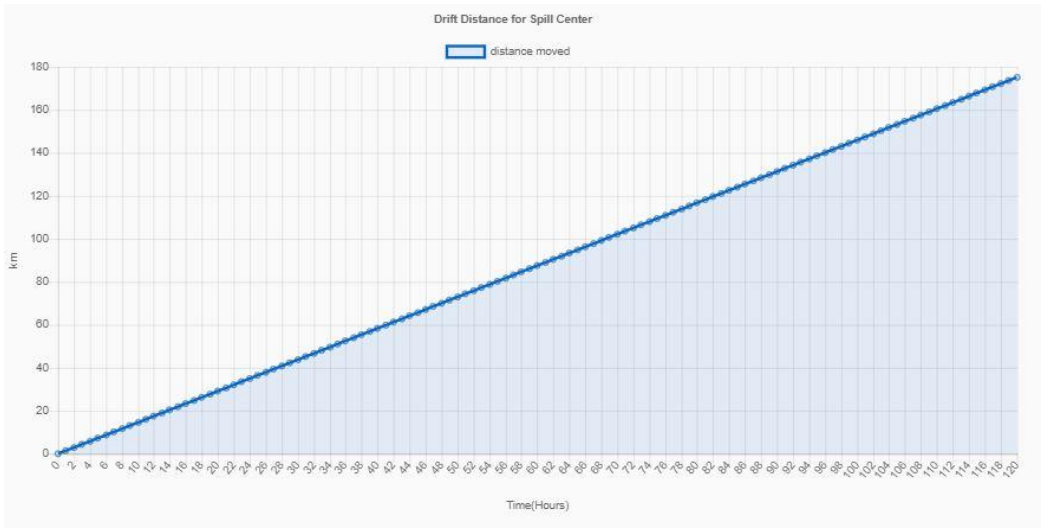
Το πάχος της πετρελαιοκηλίδας μετά από πέντε μέρες μελέτης είναι:

Πίνακας 3.2.9: Πάχος πετρελαιοκηλίδας

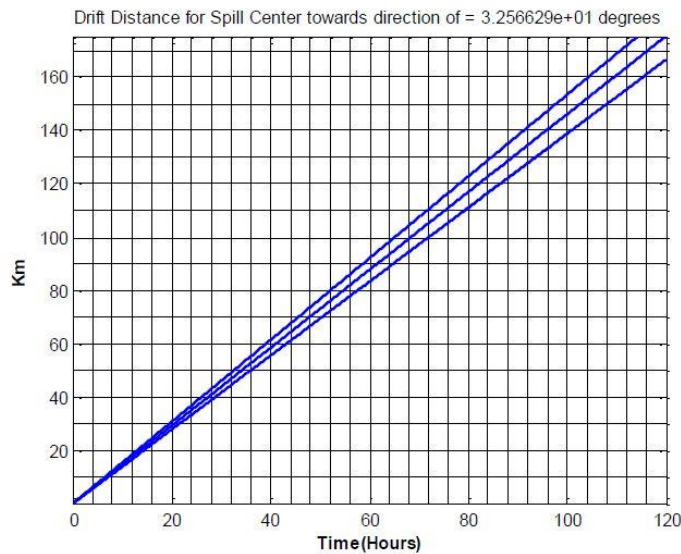
SpillSolver App	SpillSolver 2.0
0.007 m	0.011 m

➤ **Μέγιστη Μετατόπιση της πετρελαιοκηλίδας**

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η μετατόπιση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας λόγω του ανέμου και των ρευμάτων της θάλασσας.



Εικόνα 3.2.35 : Διάγραμμα μετατόπισης επιφάνειας πετρελαίου / SpillSolver App



Εικόνα 3.2.36 : Διάγραμμα μετατόπισης επιφάνειας πετρελαίου – χρόνου / SpillSolver 2.0

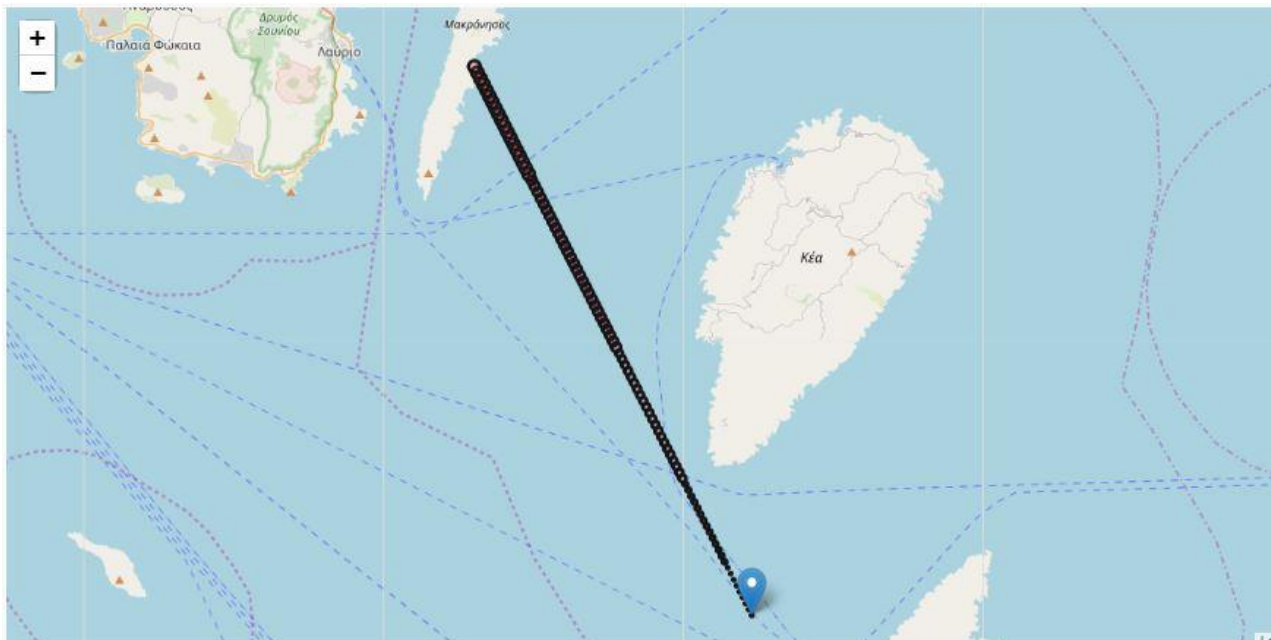
Η μέγιστη μετατόπιση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας είναι γραμμική ως προς το χρόνο και η τιμή της είναι:

Πίνακας 3.2.10: Μέγιστη μετατόπιση πετρελαιοκηλίδας

SpillSolver App	SpillSolver 2.0
175,17 km	175 km

➤ **Απεικόνιση της πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη**

Παρακάτω απεικονίζεται η επιφάνεια και η μετατόπιση της πετρελαιοκηλίδας πάνω σε χάρτη. Σε κάθε ώρα μελέτης η επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας αναπαρίσταται σαν ένας κύκλος. Η απεικόνιση ξεκινάει από το σημείο του οποίου τις συντεταγμένες έχει ορίσει ο χρήστης.



Εικόνα 3.2.37 : Απεικόνιση εξάπλωσης-μετατόπισης πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη / SpillSolver App



Εικόνα 3.2.38 : Απεικόνιση εξάπλωσης-μετατόπισης πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη / SpillSolver App

### 3.3 Σενάριο 2<sup>ο</sup>

Οι παράμετροι που εφαρμόστηκαν είναι:

<b>User Input Data :</b>	
<b><u>Oil</u></b>	
Type :	Sarir
Density :	833.0 kg/cu m
Viscosity :	3.62 cStokes
<b><u>Wind</u></b>	
Speed :	30.0 kn = 7 beaufort = 15.4 m/s = 55.6 km/h
Direction :	South
<b><u>Water</u></b>	
Temperature :	12 celcius
Density :	1025 kg / cu m
Salinity :	3.5 %
Sediment Load :	5 mg / l
Current Speed :	0.6 knots
Current Direction :	SouthWest
<b><u>Release</u></b>	
Released Volume/Mass :	13000 ton
Release Duration :	24 hours
Spill Coordinates :	24.297956 lat, 37.452444 lon

Εικόνα 3.3.1 – Παράμετροι σεναρίου 2

Ακολουθούν συνοπτικά τα αριθμητικά αποτελέσματα της εφαρμογής

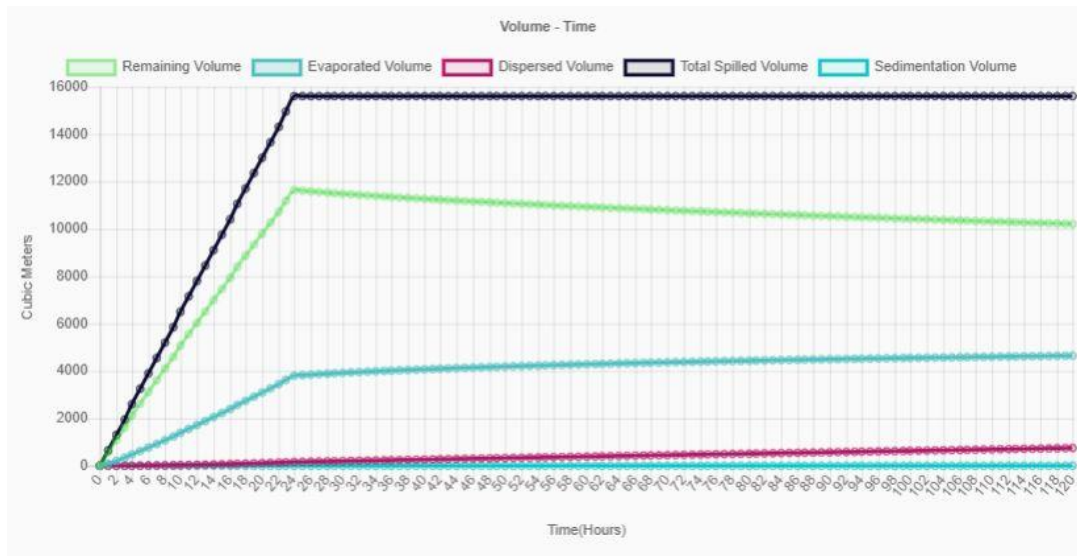
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5
Spilled Volume [cu.m]	15606.242	15606.242	15606.242	15606.242	15606.242
Remaining Volume [cu.m]	11638.755	11124.094	10763.733	10467.446	10206.745
Remaining Percentage	74.243	70.547	67.815	65.479	63.359
Evaporated Volume [cu.m]	3805.595	4168.314	4380.491	4531.033	4647.802
Evaporated Percentage	24.385	26.709	28.069	29.033	29.782
Dispersed Volume [cu.m]	161.893	313.834	462.019	607.764	751.696
Dispersed Percentage	1.372	2.744	4.116	5.488	6.86
Sedimentation Volume [cu.m]	0.0028	0.0056	0.0083	0.0111	0.0139
Emulsification Volume [cu.m]	9311.004	9311.004	9311.004	9311.004	9311.004
Emulsification Percentage	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Spreading Area [sq.km]	0.319	0.638	0.958	1.277	1.596
Drift Movement Distance [km]	61.808	123.616	185.424	206.026	206.026
Thickness [m]	0.03646	0.017424	0.01124	0.008198	0.006395
Density [kg/cu.m]	1021.956	1021.664	1021.493	1021.372	1021.278
Viscosity [cStokes]	240.112	240.112	240.112	240.112	240.112
Shore Stranding Maximum Volume [cu.m.]			0.0 - 0.0		

Εικόνα 3.3.2 – συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

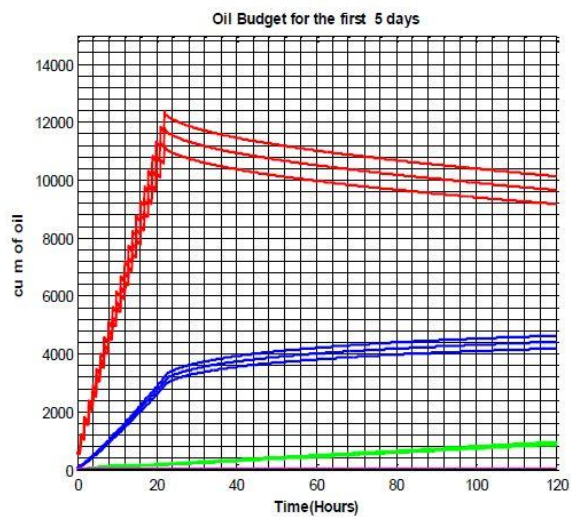


➤ **Συνολικό διάγραμμα όγκων:**

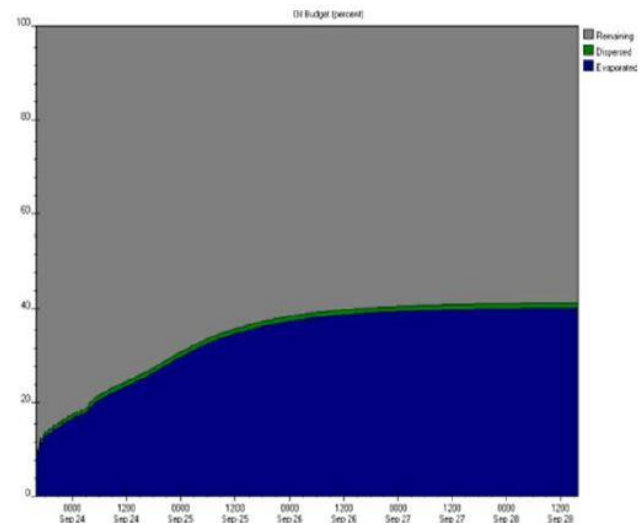
Ακολουθεί το συνολικό διάγραμμα όγκων όπως προκύπτει από το κάθε πρόγραμμα:



Εικόνα 3.3.3 : Διάγραμμα όγκων / SpillSolver App



Εικόνα 3.3.5 : Διάγραμμα όγκων / SpillSolver 2.0



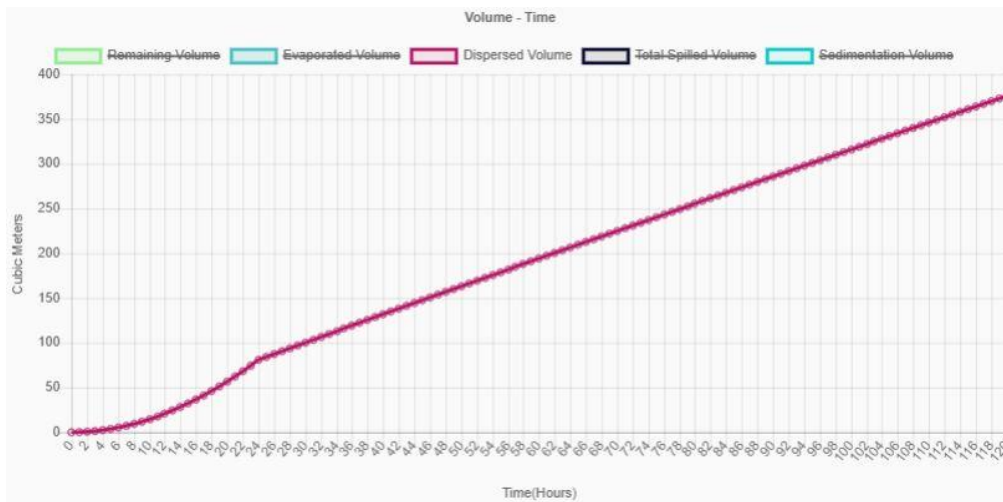
Εικόνα 3.3.4 : Διάγραμμα όγκων / ADIOS 2

Και τα τρία διαγράμματα έχουν παρόμοια μορφή, στην οποία γίνεται εμφανής η συνεχής διαρροή πετρελαίου για τις πρώτες 24 ώρες.

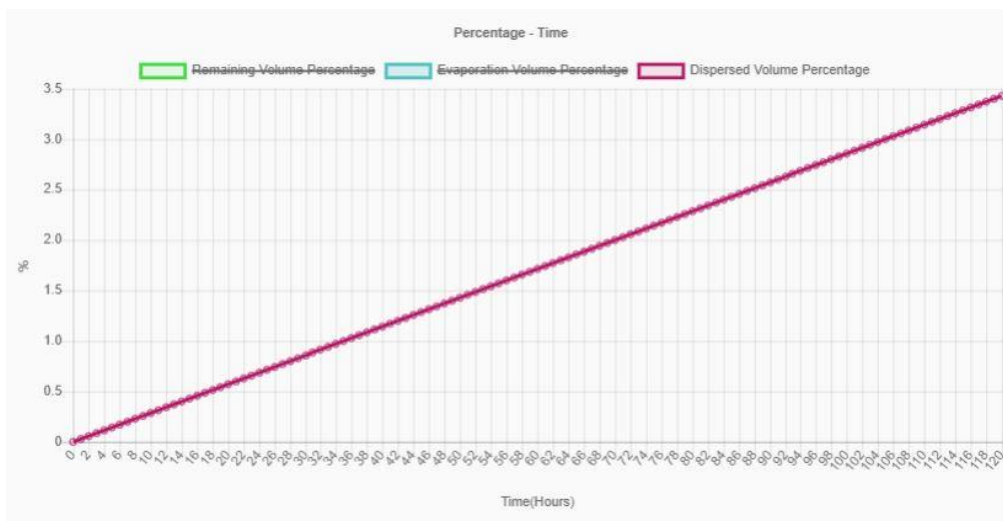


## ➤ Διασπορά

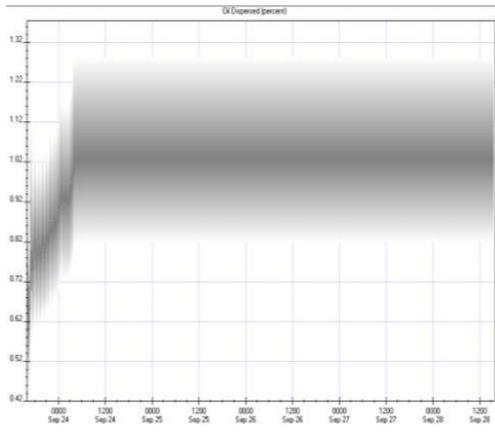
Ακολουθούν τα διαγράμματα όγκου διασποράς – χρόνου, ποσοστού διασποράς – χρόνου, του SpillSolver App, το διάγραμμα ποσοστού διασποράς – χρόνου του ADIOS 2 και το διάγραμμα όγκου διασποράς – χρόνου του SpillSolver 2.0.



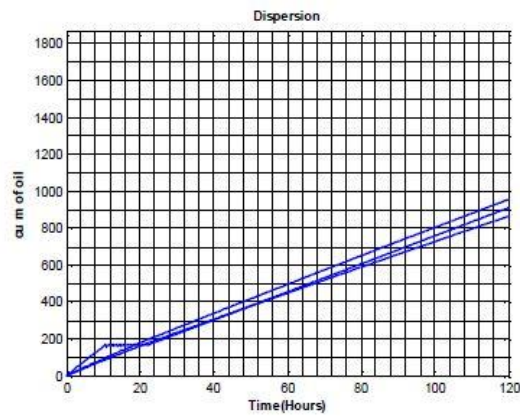
Εικόνα 3.3.6 : Διάγραμμα όγκου διασποράς / SpillSolver App



Εικόνα 3.3.7 : Διάγραμμα ποσοστού διασποράς / SpillSolver App



Εικόνα 3.3.8 : Διάγραμμα ποσοστού διασποράς / ADIOS 2



Εικόνα 3.3.9 : Διάγραμμα όγκου διασποράς / SpillSolver 2.0

Παρατηρούμε ότι οι καμπύλες που προκύπτουν από τα SpillSolver App, SpillSolver 2.0 είναι γραμμικές ως προς το χρόνο, εμφανίζοντας σταθερό ρυθμό διασποράς, ενώ η καμπύλη που προκύπτει από το ADIOS 2 παρουσιάζει στις πρώτες ώρες της μελέτης μεγάλο ρυθμό διασποράς, ο οποίος στη συνέχεια σταθεροποιείται.

Σε αυτό το σενάριο οι τιμές που προκύπτουν από τα τρία προγράμματα είναι σαφώς διαφορετικές με το SpillSolver App να δίνει περίπου τη μέση τιμή των SpillSolver 2.0 και ADIOS 2 .

Το ποσοστό διασποράς στο τέλος της πέμπτης μέρας, για το κάθε πρόγραμμα είναι:

Πίνακας 3.3.1 : Ποσοστά διασποράς

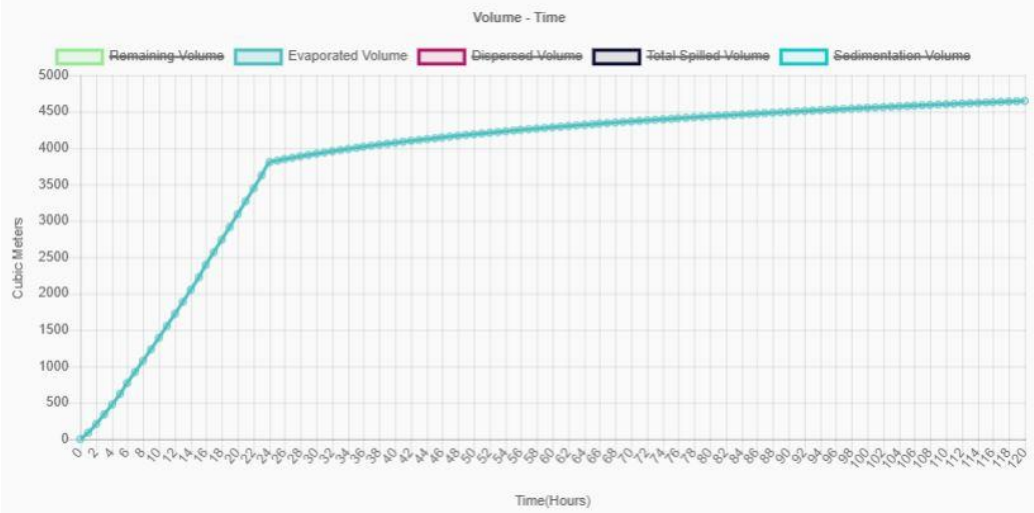
SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
3.43 %	6.25%	1.08%

Όσον αφορά στον όγκο του πετρελαίου που θα υποστεί διασπορά είναι με βάση το SpillSolver App 375.9 m<sup>3</sup> , ενώ με βάση το SpillSolver 2.0 φτάνει τα 900 m<sup>3</sup> .

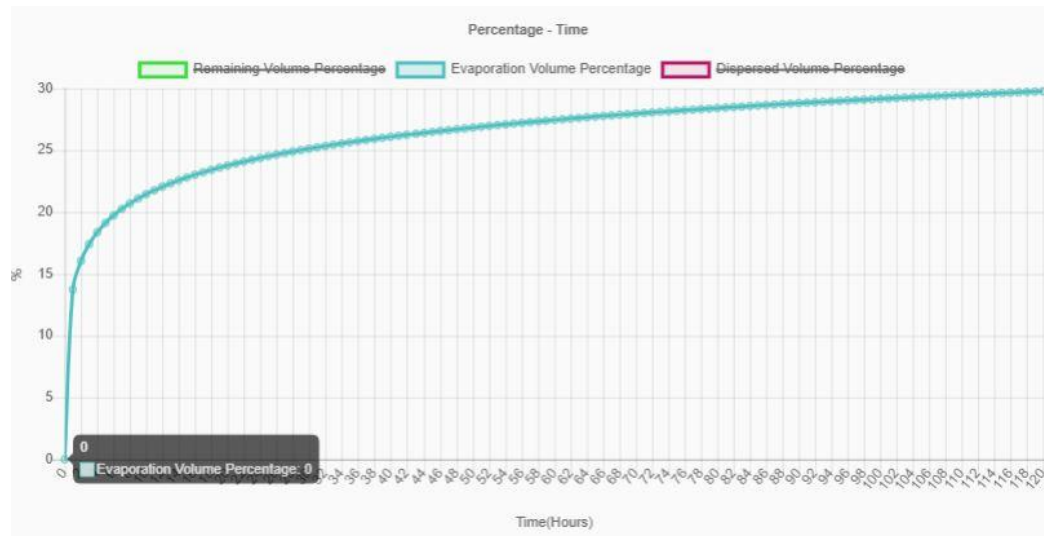
Η αβεβαιότητα λυγών για το ποσοστό και τον όγκο της διασποράς είναι αρκετά μεγάλη.

### ➤ Εξάτμιση

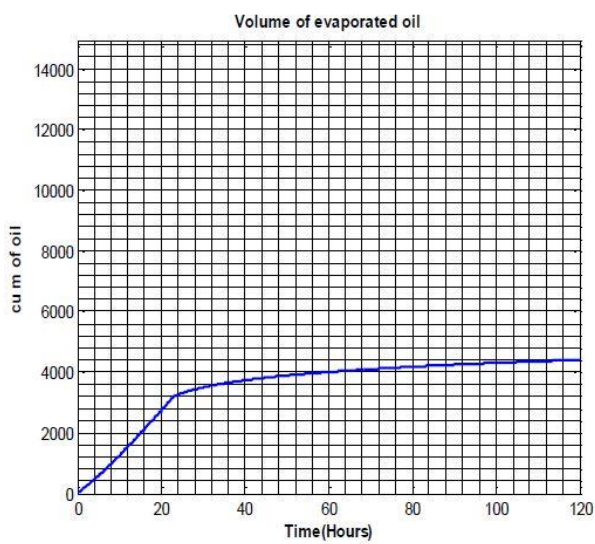
Ακολουθούν τα διαγράμματα όγκου εξάτμισης – χρόνου και ποσοστού εξάτμισης – χρόνου, όπως αυτά προκύπτουν από τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0 και το διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης – χρόνου όπως προκύπτει από το ADIOS 2.



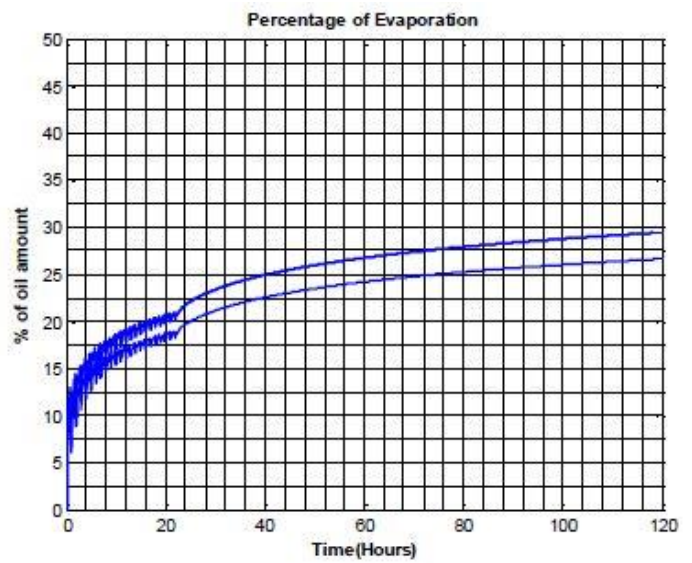
Εικόνα 3.3.10 : Διάγραμμα όγκου εξάτμισης / SpillSolver App



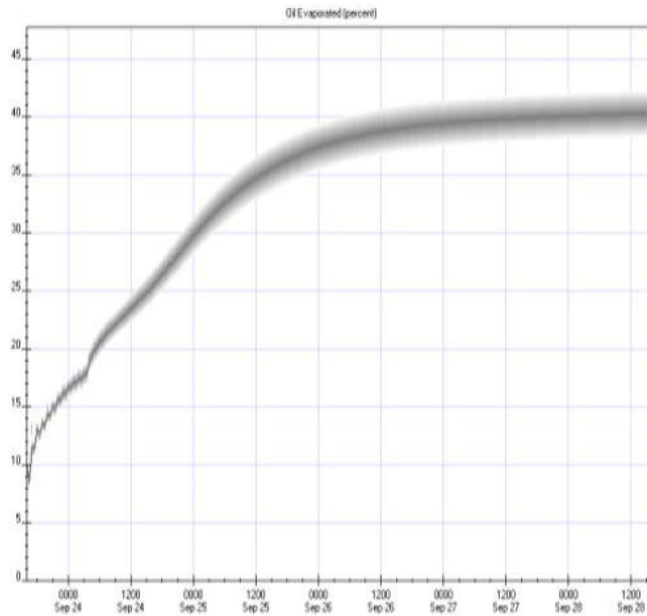
Εικόνα 3.3.11 : Διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης / SpillSolver App



Εικόνα 3.3.12 : Διάγραμμα όγκου εξάτμισης / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.3.13 : Διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.3.14 : Διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης / ADIOS 2

Το SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App εξάγουν αποτελέσματα τόσο για τον όγκο όσο και για το ποσοστό εξάτμισης, ενώ το ADIOS 2 μόνο για το ποσοστό εξάτμισης. Οι αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν είναι:

Πίνακας 3.3.2 : Ποσοστά εξάτμισης

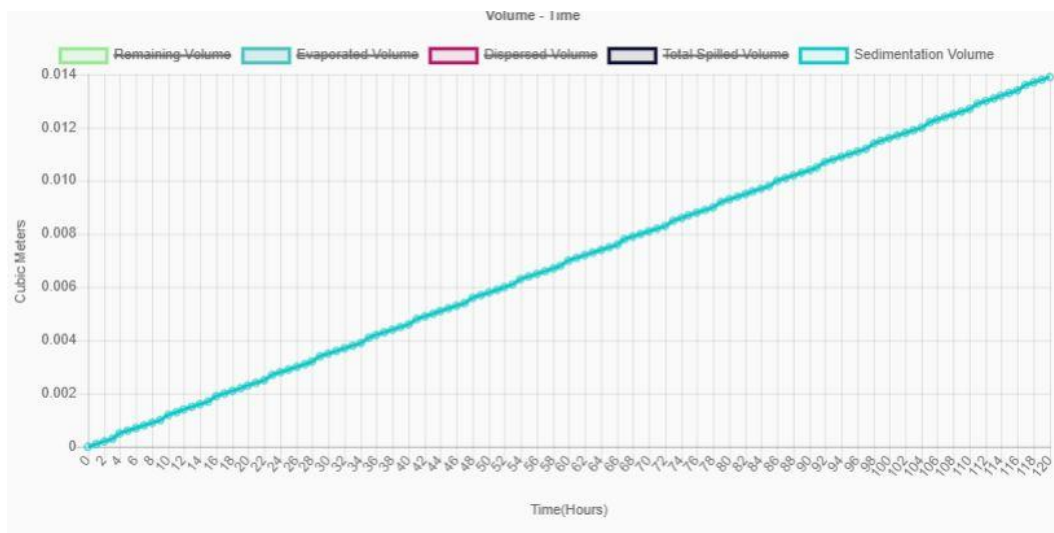
SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
29.78%	29.45%	40 %

Και τα τρία προγράμματα παράγουν διαγράμματα ίδιας μορφής, δείχνοντας ότι τις πρώτες 24 ώρες ο ρυθμός εξάτμισης είναι μεγαλύτερος.

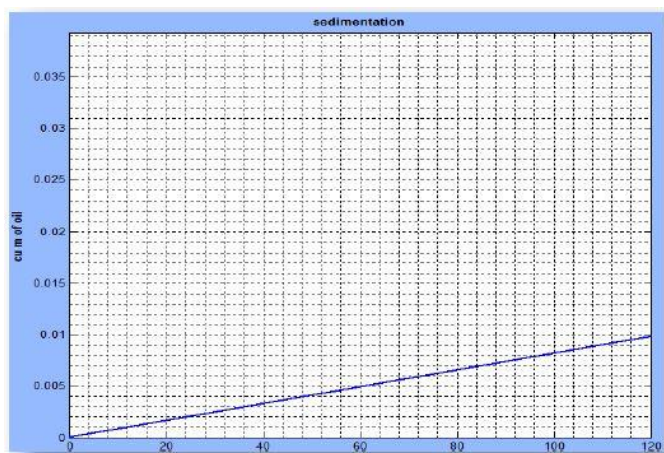
Οι τιμές του ποσοστού εξάτμισης που προκύπτουν από τα SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App είναι σχεδόν ίσες, ενώ η αντίστοιχη τιμή που προκύπτει από το ADIOS 2 είναι λίγο μεγαλύτερη.

## ➤ Ιζηματοποίηση

Ακολουθούν τα διαγράμματα του όγκου ιζηματοποίησης όπως προκύπτουν από τα SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App.



Εικόνα 3.3.15 : Διάγραμμα όγκου ιζηματοποίησης / SpillSolver App

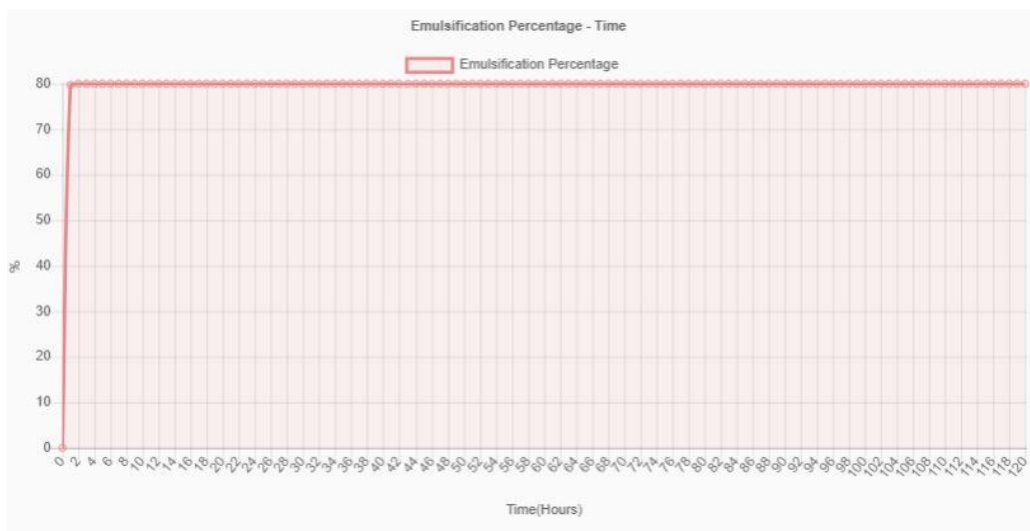


(Εικόνα 3.3.16 : Διάγραμμα όγκου ιζηματοποίησης / SpillSolver 2.0)

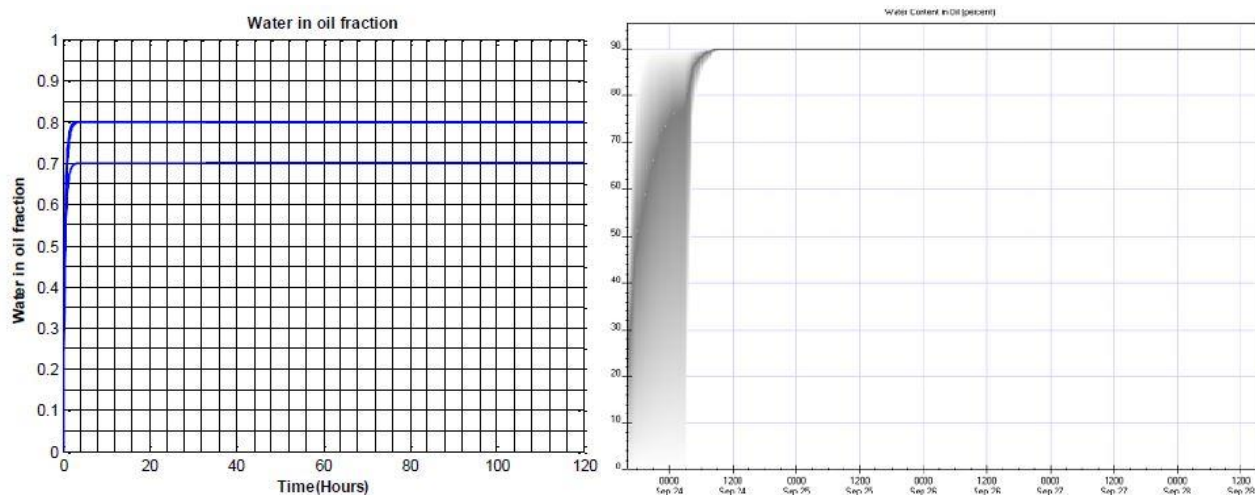
Παρατηρούμε ότι τα δύο διαγράμματα έχουν παρόμοια μορφή.

## ➤ Γαλακτωματοποίηση

Ακολουθούν τα διαγράμματα ποσοστού γαλακτωματοποίησης – χρόνου, όπως αυτά προκύπτουν για το κάθε ένα από τα τρία προγράμματα:



Εικόνα 3.3.17 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / SpillSolver App



Εικόνα 3.3.18 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / SpillSolver 2.0

Εικόνα 3.3.19 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / ADIOS 2

Παρατηρούμε ότι και στα τρία προγράμματα μεταβλήθηκε η μορφή της καμπύλης με την αύξηση του ποσοστού του γαλακτωματοποίησης να γίνεται πιο ραγδαία τις πρώτες ώρες της μελέτης.

Η αβεβαιότητα του τελικού αποτελέσματος παραμένει στο 10%.

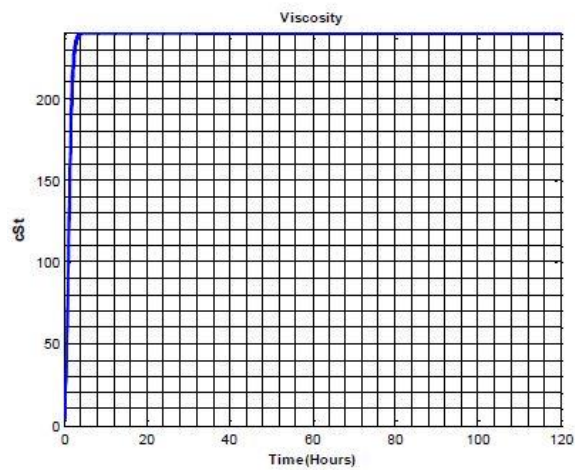


## ➤ Ιξώδες Πετρελαίου

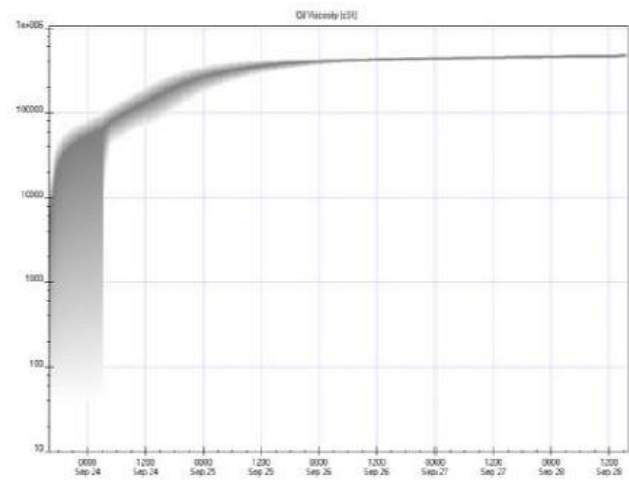
Παρατίθενται παρακάτω οι καμπύλες αύξησης του ιξώδους του πετρελαίου όπως προκύπτουν για κάθε ένα από τα τρία προγράμματα:



Εικόνα 3.3.20 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / SpillSolver App



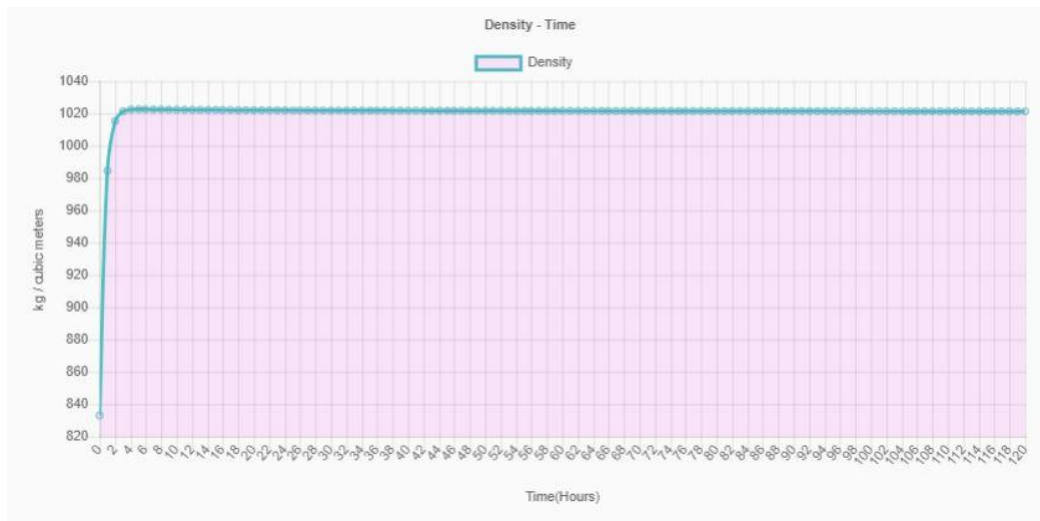
Εικόνα 3.3.21 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / SpillSolver 2.0



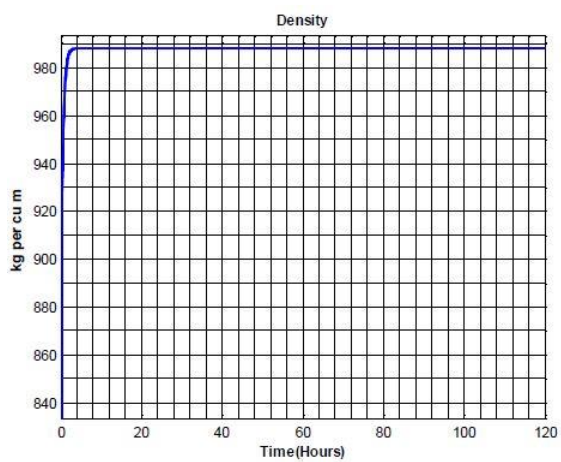
Εικόνα 3.3.22 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / ADIOS 2

Παρατηρούμε ότι και οι τρεις καμπύλες είναι της ίδιας μορφής και η τιμή του ιξώδους σταθεροποιείται περίπου μετά από τον ίδιο αριθμό ωρών.

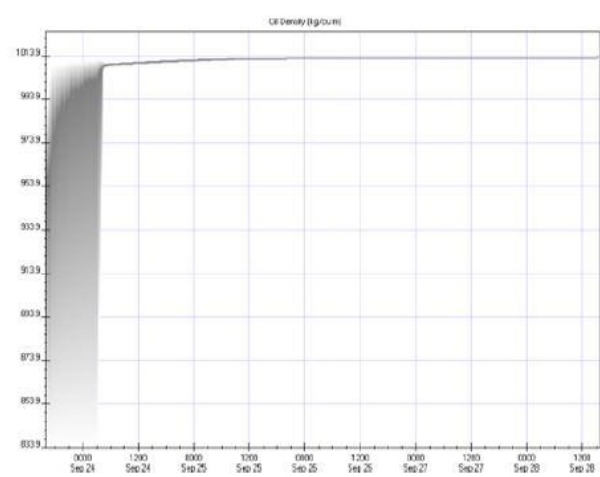
## ➤ Πυκνότητα Πετρελαίου



Εικόνα 3.3.23 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / SpillSolver App



Εικόνα 3.3.24 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / SpillSolver 2.0



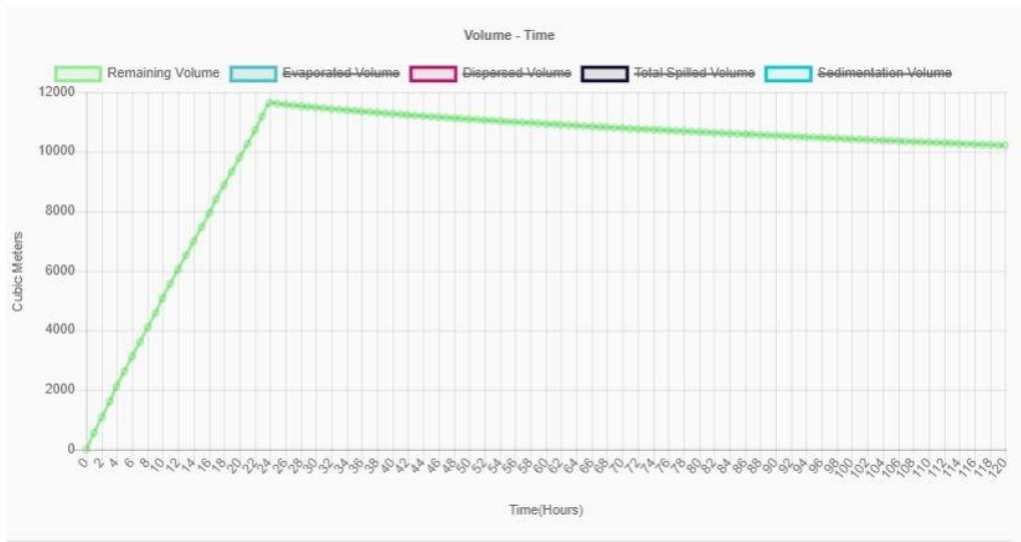
Εικόνα 3.3.25 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / ADIOS 2

Παρατηρούμε ότι και στα τρία διαγράμματα η τιμή της πυκνότητας μεταβάλλεται με τον ίδιο περίπου ρυθμό και ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά.

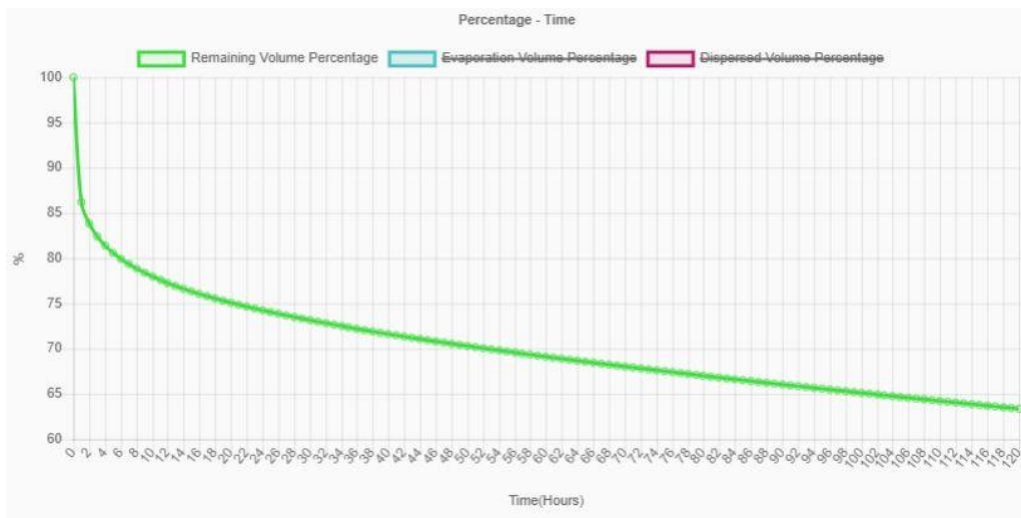
Οι τιμές είναι πολύ κοντά και το αποτέλεσμα θεωρείται αξιόπιστο.



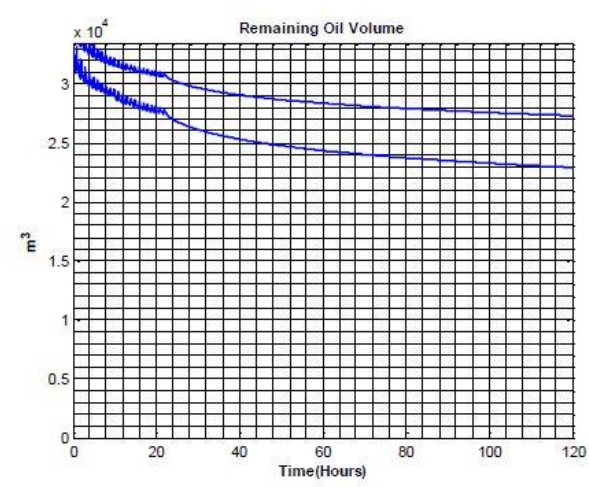
➤ **Εναπομένον Όγκος Πετρελαίου**



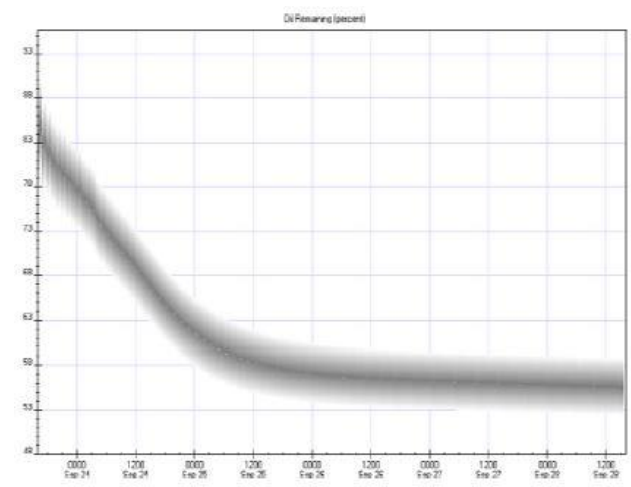
Εικόνα 3.3.26 : Διάγραμμα όγκου πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / SpillSolver App



Εικόνα 3.3.27 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα/ SpillSolver App



Εικόνα 3.3.28 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / SpillSolver 2.0

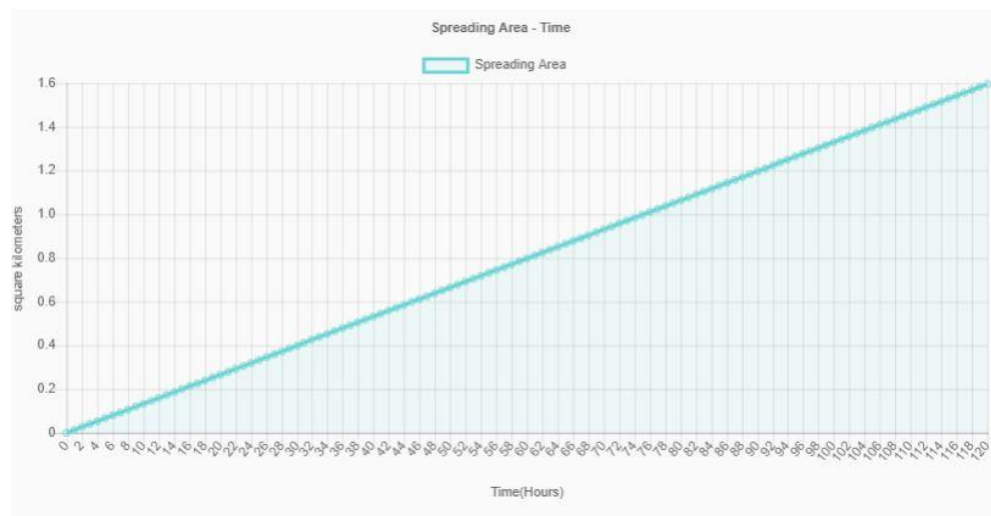


Εικόνα 3.3.29 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / ADIOS 2

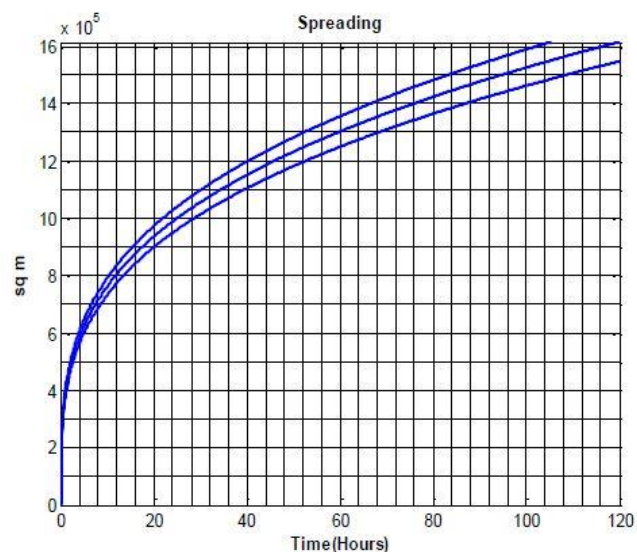
Παρατηρούμε ότι όλες οι καμπύλες παρουσιάζουν παρόμοια μορφή

### ➤ Εξάπλωση

Παρουσιάζονται τα διαγράμματα της εξάπλωσης της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει του χρόνου, όπως αυτά προκύπτουν από τα SpillSolver App, SpillSolver 2.0.



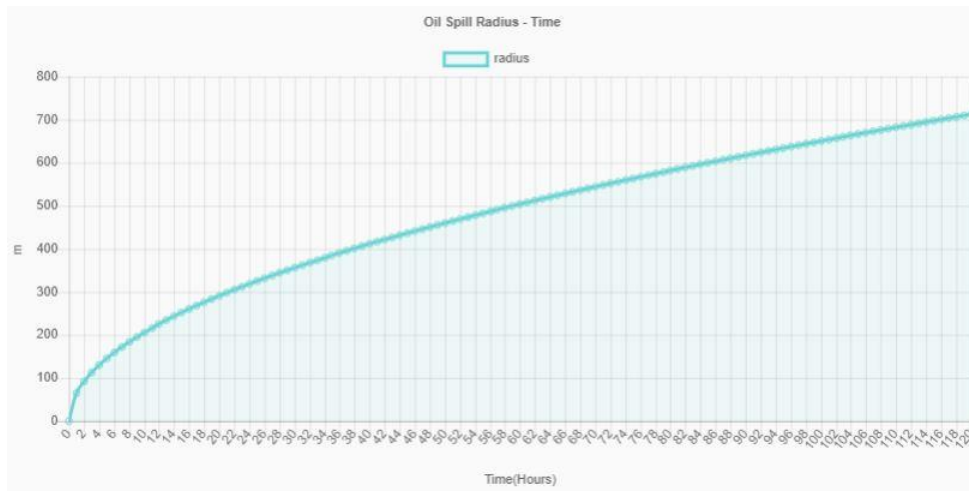
Εικόνα 3.3.30 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver App



Εικόνα 3.3.31 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver 2.0

Η μορφή των καμπυλών δεν μεταβάλλεται σε σχέση με το σενάριο 1.

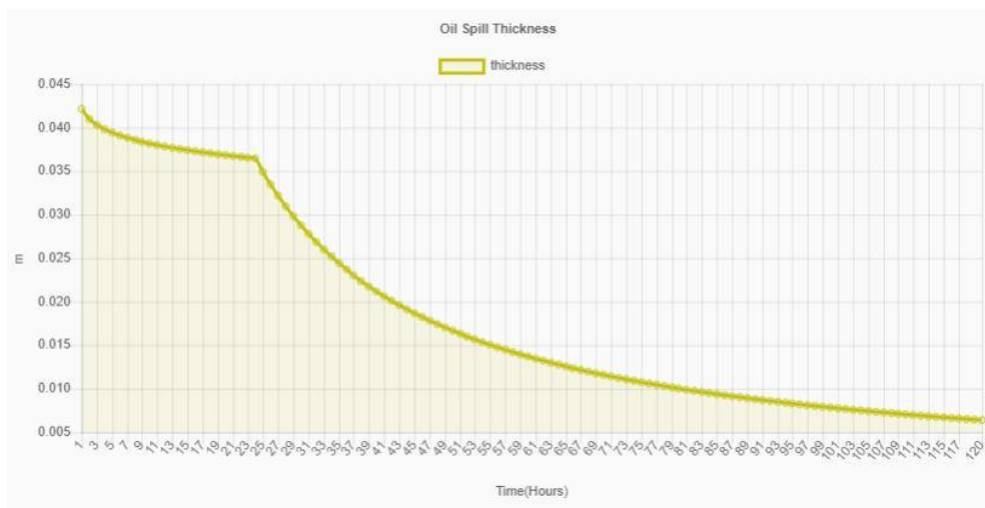
Το SpillSolver App εξάγει και ένα διάγραμμα της ακτίνας της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας θεωρώντας την ως κυκλική.



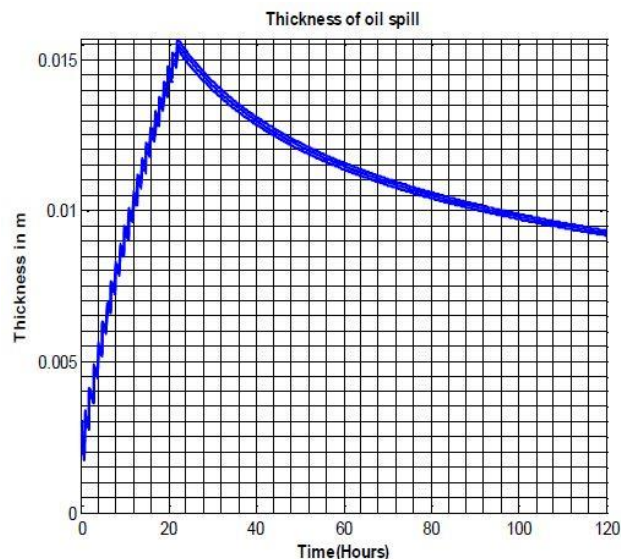
Εικόνα 3.3.32 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver App

➤ **Πάχος πετρελαιοκηλίδας**

Παρουσιάζονται τα διαγράμματα του πάχους της πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει του χρόνου όπως προκύπτουν από τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0.



Εικόνα 3.3.33 : Διάγραμμα πάχους επιφάνειας πετρελαίου – χρόνου / SpillSolver App



Εικόνα 3.3.34 : Διάγραμμα πάχους επιφάνειας πετρελαίου / SpillSolver 2.0

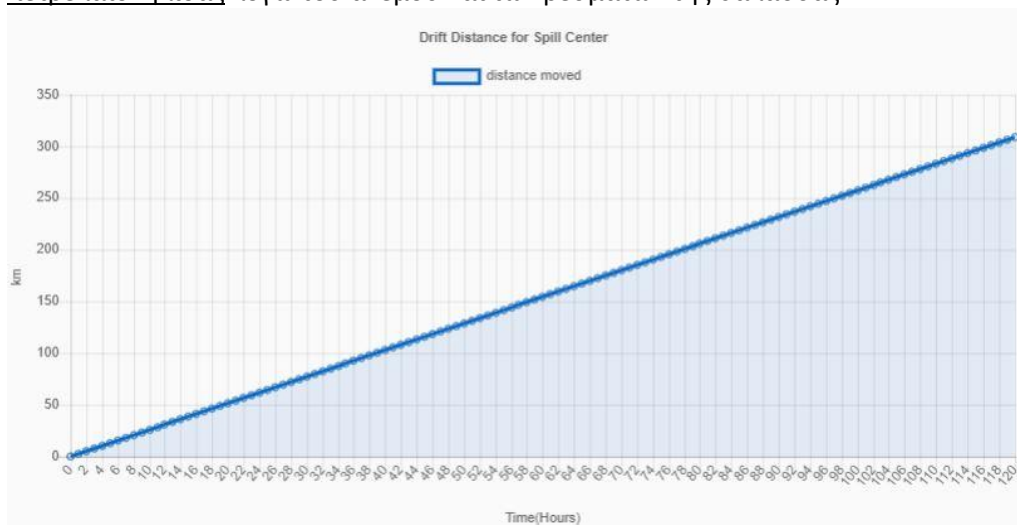
Παρατηρούμε ότι η μορφή των δύο καμπυλών δεν μεταβλήθηκε σε σχέση με το σενάριο 1. Οι τελικές τιμές του πάχους της πετρελαιοκηλίδας μετά από πέντε μέρες μελέτης είναι:

Πίνακας 3.3.3 : Πάχοι πετρελαιοκηλίδας

SpillSolver App	SpillSolver 2.0
0.0066 m	0.009 m

### ➤ Μέγιστη Μετατόπιση της πετρελαιοκηλίδας

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η μέγιστη δυνατή μετατόπιση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας λόγω του ανέμου και των ρευμάτων της θάλασσας.

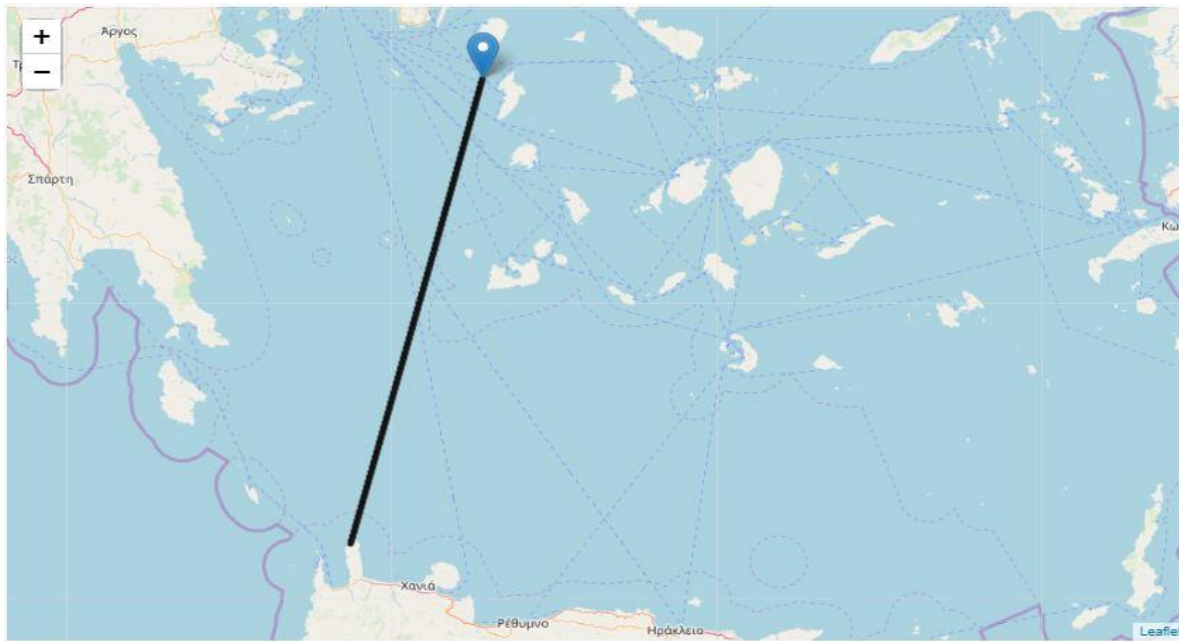


Εικόνα 3.3.35 : Διάγραμμα μετατόπισης επιφάνειας πετρελαίου / SpillSolver App

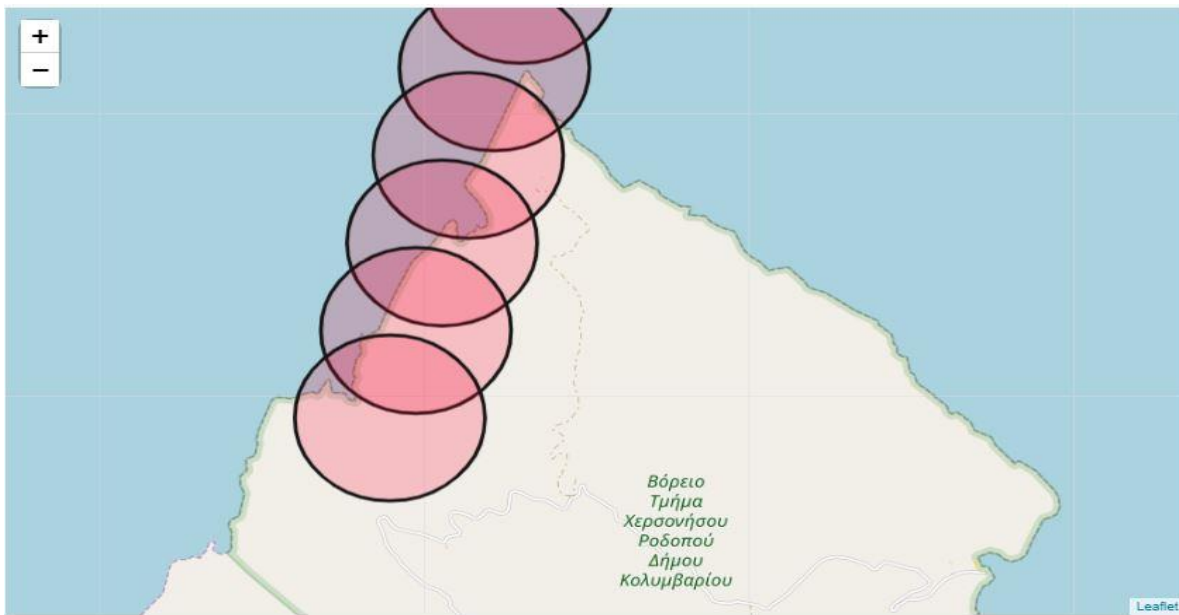
Η κίνηση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας είναι γραμμική ως προς το χρόνο.

➤ **Απεικόνιση της πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη**

Παρακάτω απεικονίζεται η επιφάνεια και η μετατόπιση της πετρελαιοκηλίδας πάνω σε χάρτη. Σε κάθε ώρα μελέτης η επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας αναπαρίσταται σαν ένας κύκλος. Η απεικόνιση ξεκινάει από το σημείο του οποίου τις συντεταγμένες έχει ορίσει ο χρήστης.



Εικόνα 3.3.36 : Απεικόνιση εξάπλωσης-μετατόπισης πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη / SpillSolver App



Εικόνα 3.3.37 : Απεικόνιση εξάπλωσης-μετατόπισης πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη / SpillSolver App

### 3.4 Σενάριο 3<sup>ο</sup>

#### User Input Data :

##### Oil

Type : Sarir

Density : 833.0 kg/cu m

Viscosity : 3.62 cStokes

##### Wind

Speed : 51.0 kn = 10 beaufort = 26.2 m/s = 94.5 km/h

Direction : SouthEast

##### Water

Temperature : 12 celcius

Density : 1025 kg / cu m

Salinity : 3.5 %

Sediment Load : 5 mg / l

Current Speed : 0.6 knots

Current Direction : South

##### Release

Released Volume/Mass : 13000 ton

Release Duration : 24 hours

Spill Coordinates : 24.297956 lat, 37.452444 lon

**Εικόνα 3.4.1 – Παράμετροι σεναρίου 3**

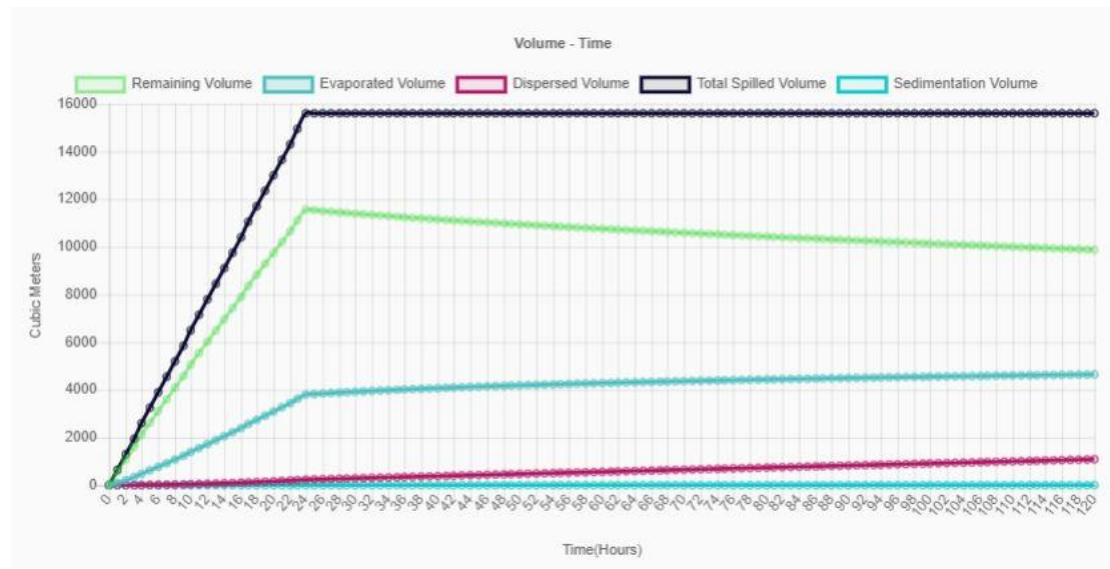
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5
Spilled Volume [cu.m]	15606.242	15606.242	15606.242	15606.242	15606.242
Remaining Volume [cu.m]	11566.696	10984.407	10558.089	10196.93	9872.166
Remaining Percentage	73.632	69.326	65.984	63.036	60.306
Evaporated Volume [cu.m]	3805.595	4168.314	4380.491	4531.033	4647.802
Evaporated Percentage	24.385	26.709	28.069	29.033	29.782
Dispersed Volume [cu.m]	233.952	453.522	667.663	878.28	1086.275
Dispersed Percentage	1.983	3.965	5.948	7.93	9.913
Sedimentation Volume [cu.m]	0.0028	0.0056	0.0083	0.0111	0.0139
Emulsification Volume [cu.m]	9253.357	9253.357	9253.357	9253.357	9253.357
Emulsification Percentage	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Spreading Area [sq.km]	0.336	0.673	1.009	1.345	1.681
Drift Movement Distance [km]	14.814	14.814	14.814	14.814	14.814
Thickness [m]	0.034399	0.016334	0.010466	0.007581	0.005872
Density [kg/cu.m]	1021.956	1021.664	1021.493	1021.372	1021.278
Viscosity [cStokes]	240.112	240.112	240.112	240.112	240.112
Shore Stranding Maximum Volume [cu.m.]			0.0 - 0.0		

**Εικόνα 3.4.2 – συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων**

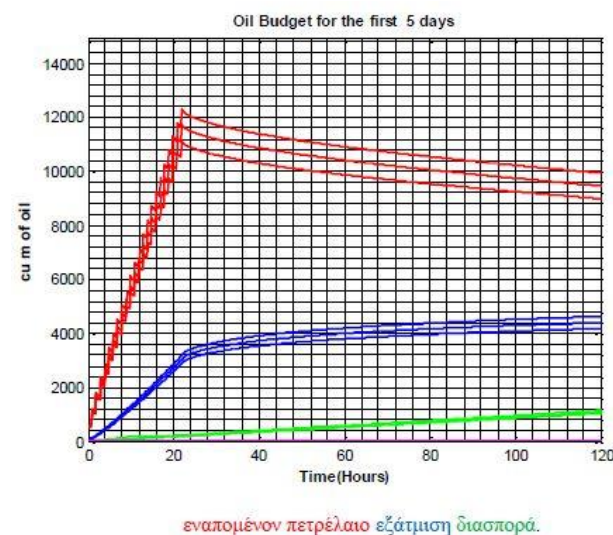


➤ **Συνολικό διάγραμμα όγκων:**

Ακολουθεί το συνολικό διάγραμμα όγκων όπως προκύπτει από το κάθε πρόγραμμα:

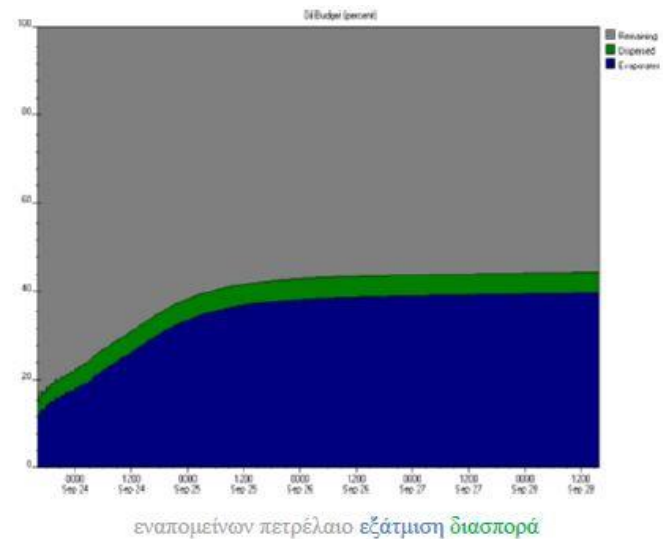


Εικόνα 3.4.3 : Διάγραμμα όγκων / SpillSolver App



εναπομένον πετρέλαιο εξάτμιση διασπορά.

Εικόνα 3.4.5 Διάγραμμα όγκων / SpillSolver 2.0



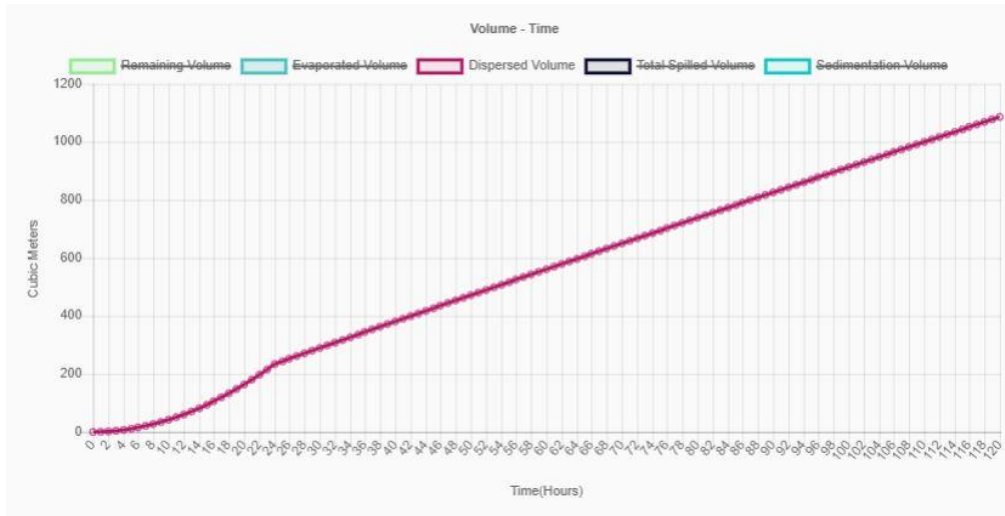
εναπομείνων πετρέλαιο εξάτμιση διασπορά

Εικόνα 3.4.4 : Διάγραμμα όγκων / ADIOS 2

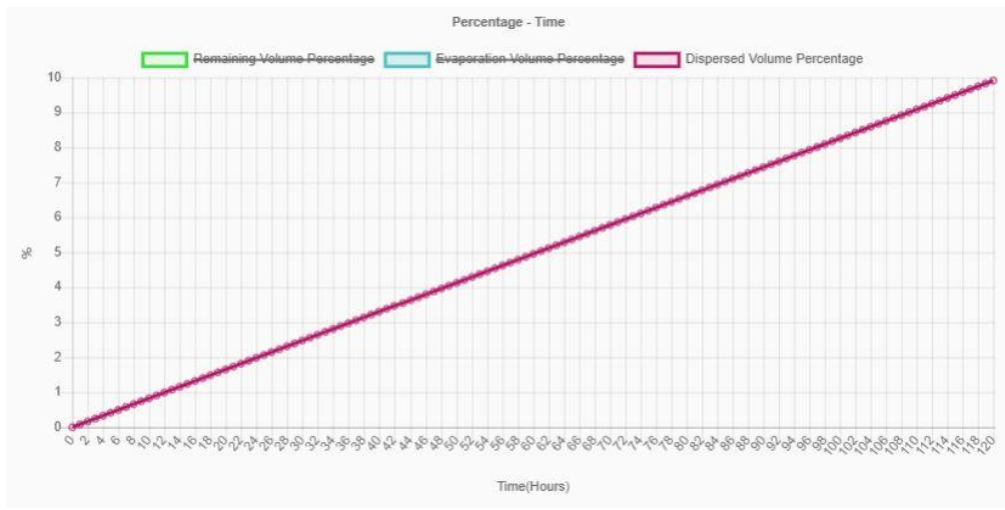
Και τα τρία διαγράμματα έχουν παρόμοια μορφή, στην οποία γίνεται εμφανής η συνεχής διαρροή πετρελαίου για τις πρώτες 24 ώρες.



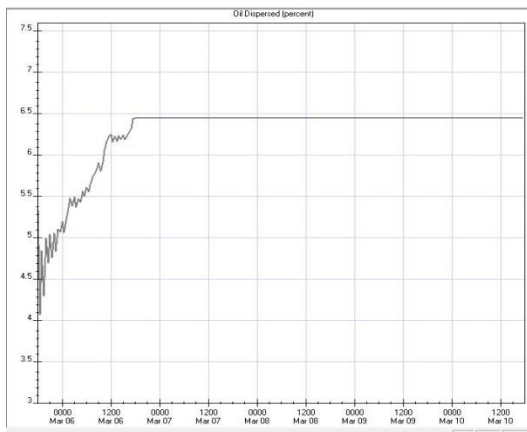
➤ Διασπορά



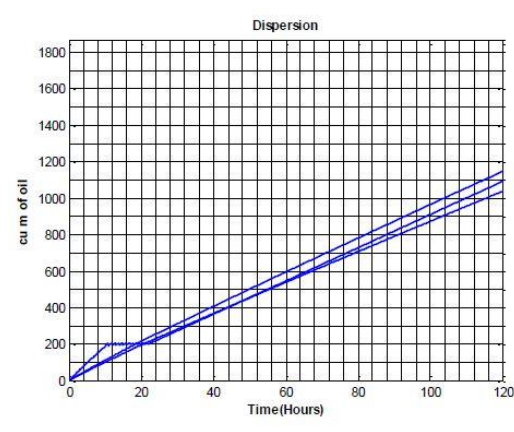
Εικόνα 3.4.6 : Διάγραμμα όγκου διασποράς / SpillSolver App



Εικόνα 3.4.7 : Διάγραμμα ποσοστού διασποράς / SpillSolver App



Εικόνα 3.4.8 : Διάγραμμα ποσοστού διασποράς / ADIOS 2



Εικόνα 3.4.9 : Διάγραμμα όγκου διασποράς / SpillSolver 2.0

Παρατηρούμε ότι οι καμπύλες που προκύπτουν από τα SpillSolver App, SpillSolver 2.0 είναι γραμμικές ως προς το χρόνο, εμφανίζοντας σταθερό ρυθμό διασποράς, ενώ η καμπύλη που προκύπτει από το

ADIOS 2 παρουσιάζει στις πρώτες ώρες της μελέτης μεγάλο ρυθμό διασποράς , ο οποίος στη συνέχεια σταθεροποιείται.

Οι τιμές του ποσοστού διασποράς στο τέλος της πέμπτης μέρας, για το κάθε πρόγραμμα είναι:

Πίνακας 3.4.1 : Ποσοστά διασποράς

SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
9,913 %	7.27%	6.5%

Η αβεβαιότητα λοιπόν για το ποσοστό και τον όγκο της διασποράς είναι αρκετά μεγάλη.

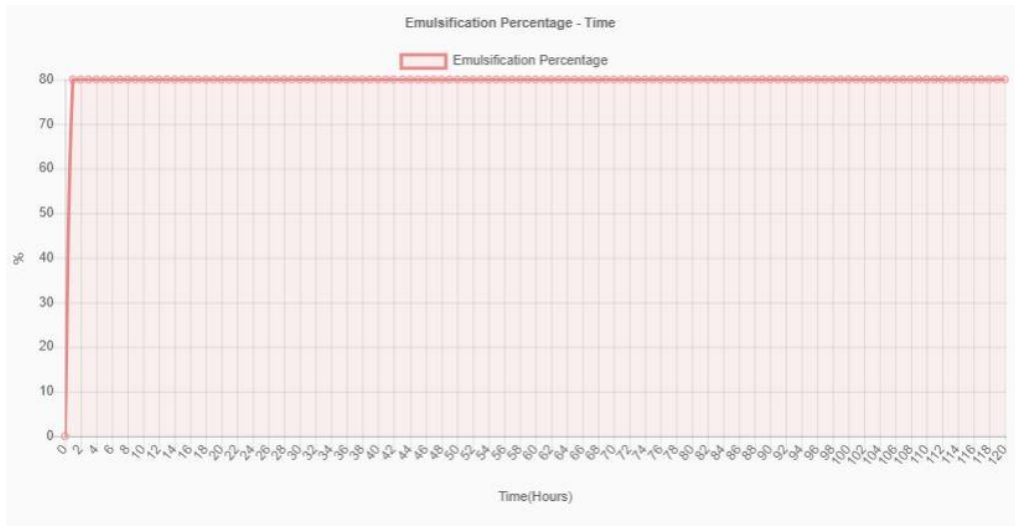
#### ➤ **Εξάτμιση**

Παρατηρούμε ότι τόσο η μορφή των καμπυλών όσο και οι τιμές που αφορούν τον όγκο και το ποσοστό εξάτμισης παραμένουν αμετάβλητα παρά την αύξηση της ταχύτητας του αέρα.

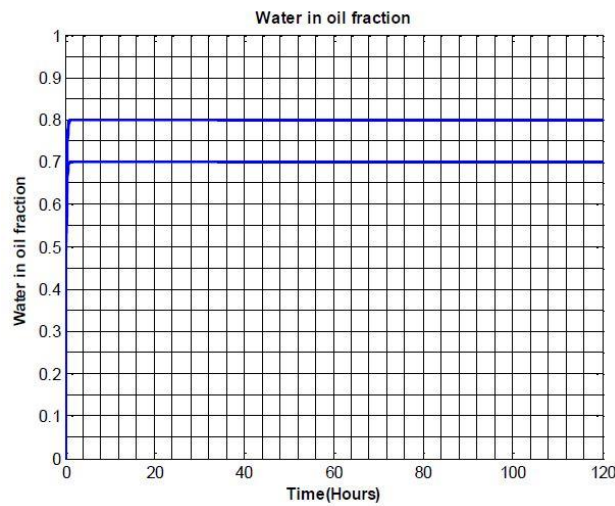
#### ➤ **Ιζηματοποίηση**

Παρατηρούμε ότι ο όγκος και ο ρυθμός της ιζηματοποίησης δεν μεταβάλλονται με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα.

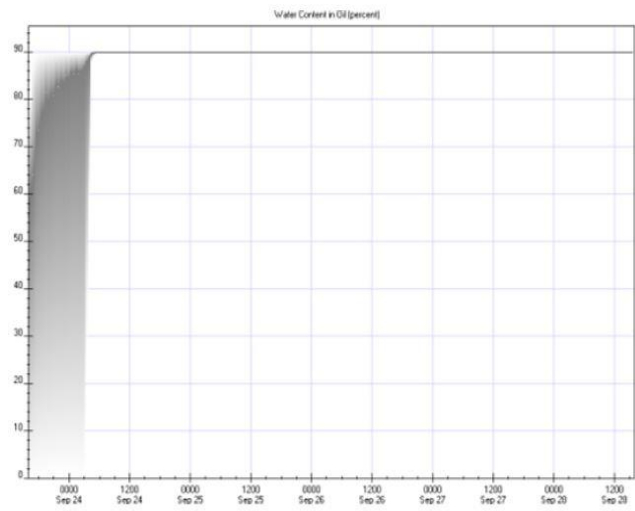
➤ Γαλακτωματοποίηση



Εικόνα 3.4.10 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / SpillSolver App



Εικόνα 3.4.11 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / SpillSolver 2.0



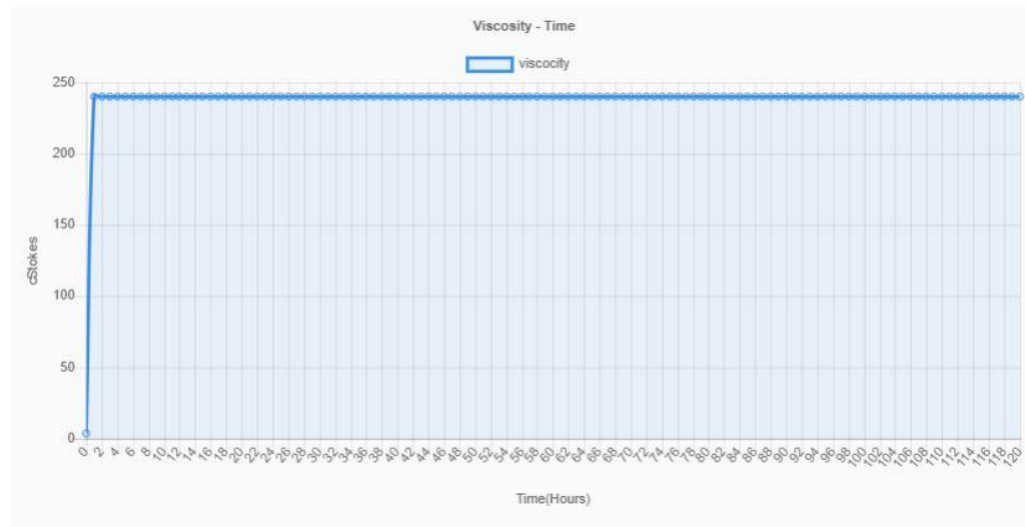
Εικόνα 3.4.12 : Διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης / ADIOS 2

Παρατηρούμε ότι και στα τρία προγράμματα μεταβλήθηκε η μορφή της καμπύλης με την αύξηση του ποσοστού του γαλακτωματοποίησης να γίνεται ακόμα πιο ραγδαία τις πρώτες ώρες της μελέτης.

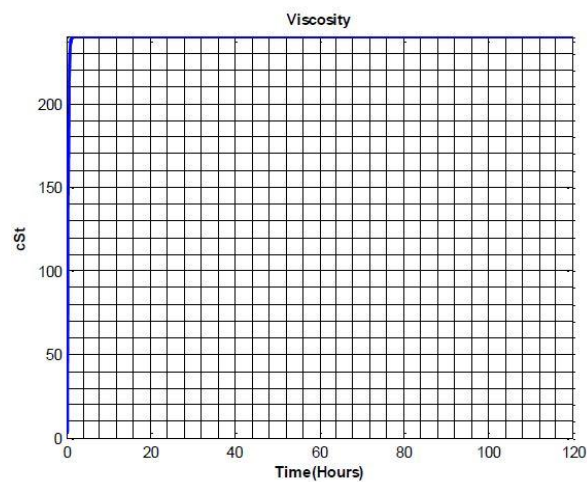
Η αβεβαιότητα του τελικού αποτελέσματος παραμένει στο 10%.

## ➤ Ιξώδες Πετρελαίου

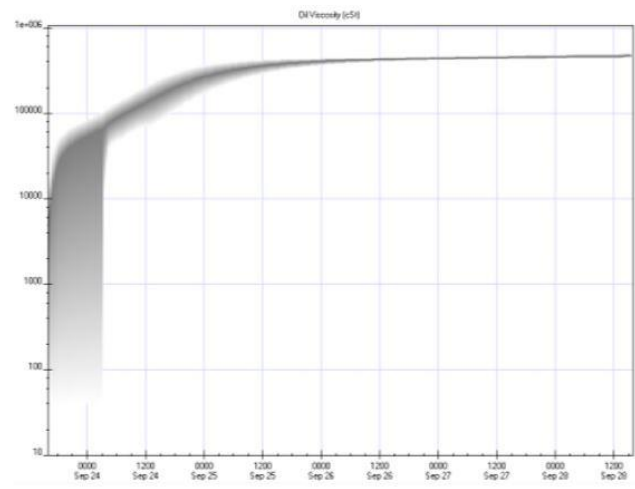
Παρατίθενται παρακάτω οι καμπύλες αύξησης του ιξώδους του πετρελαίου όπως προκύπτουν για κάθε ένα από τα τρία προγράμματα:



Εικόνα 3.4.13 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου – χρόνος / SpillSolver App



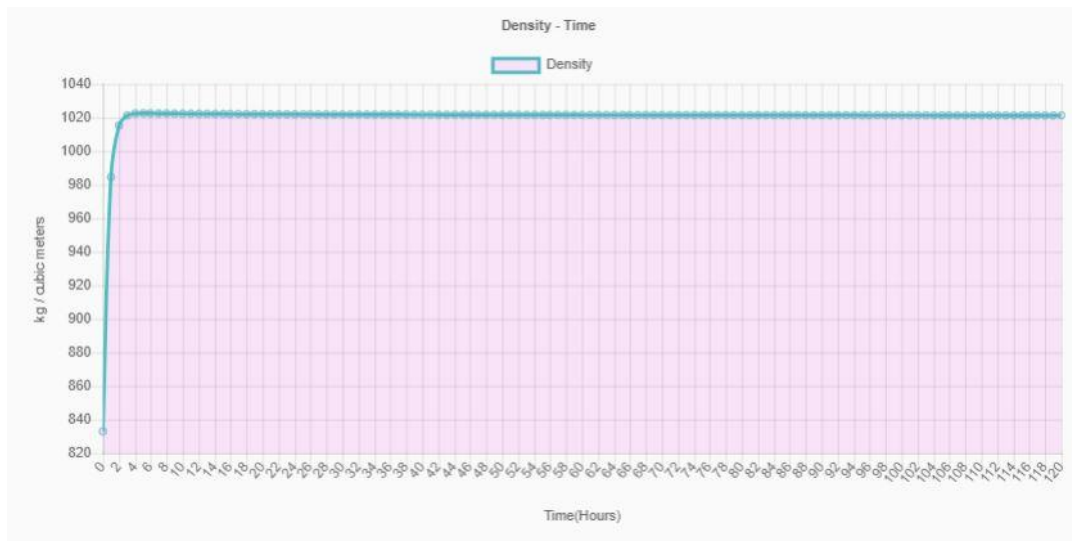
Εικόνα 3.4.14 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / SpillSolver 2.0



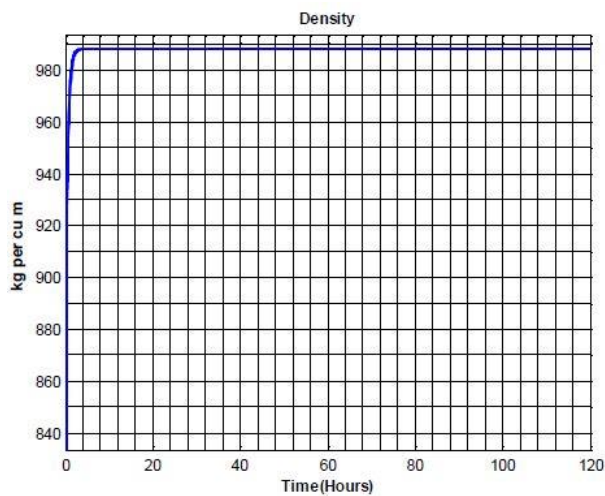
Εικόνα 3.4.15 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / ADIOS 2

Η τελική τιμή του ιξώδους έμεινε σταθερή στα SpillSolver App, SpillSolver 2.0 ενώ αυξήθηκε στο ADIOS 2.

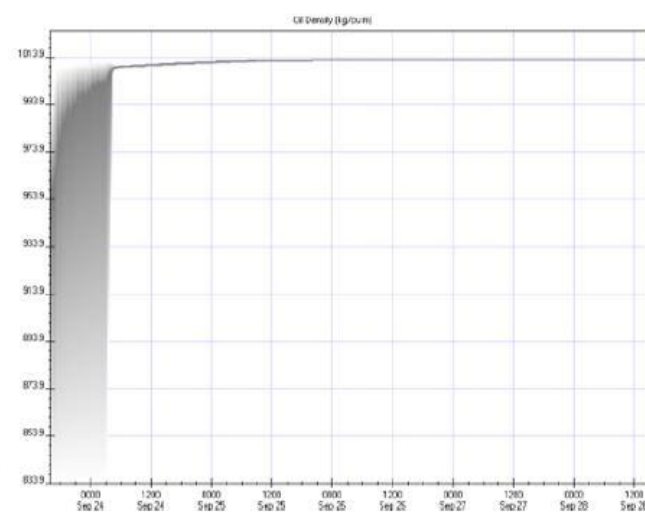
## ➤ Πυκνότητα Πετρελαίου



Εικόνα 3.4.16 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / SpillSolver App



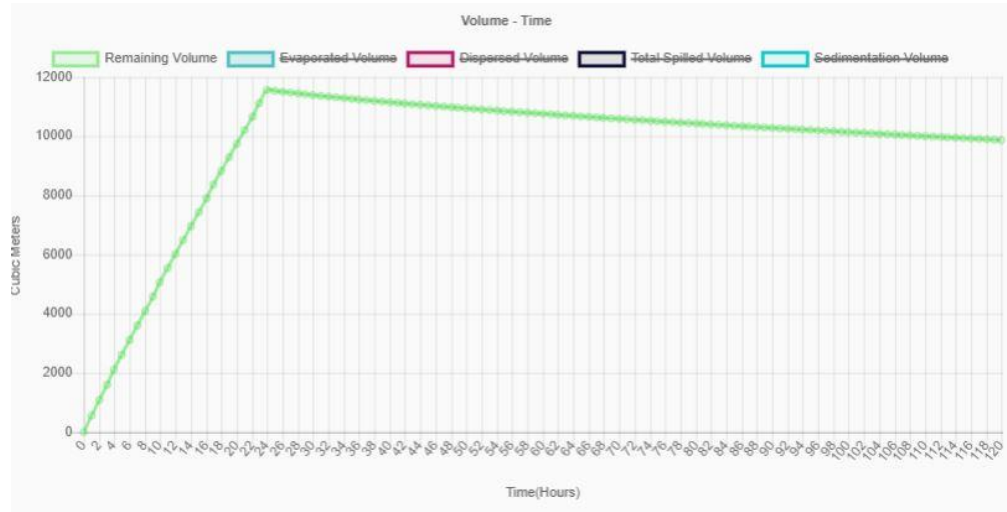
Εικόνα 3.4.17 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / SpillSolver 2.0



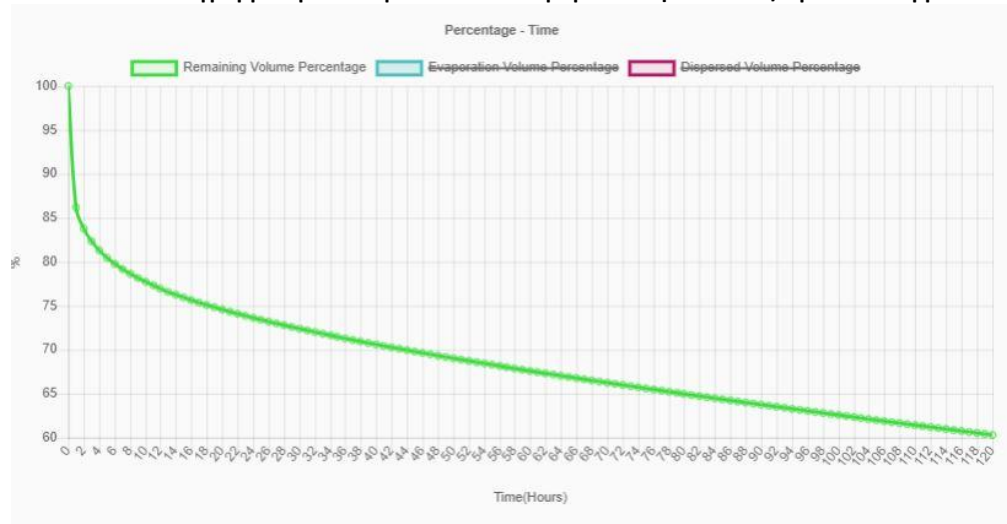
Εικόνα 3.4.18 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / ADIOS 2

Οι τιμές είναι πολύ κοντά και το αποτέλεσμα θεωρείται αξιόπιστο.

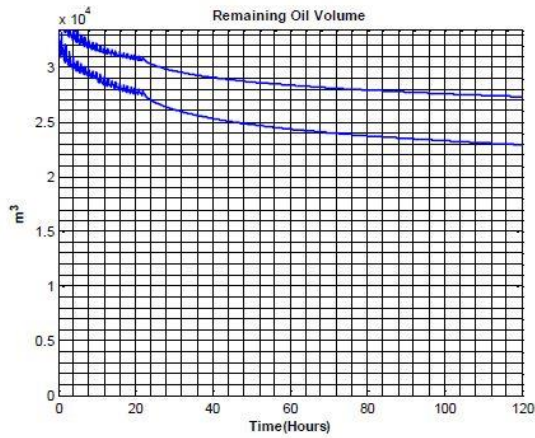
➤ **Εναπομένον Όγκος Πετρελαίου**



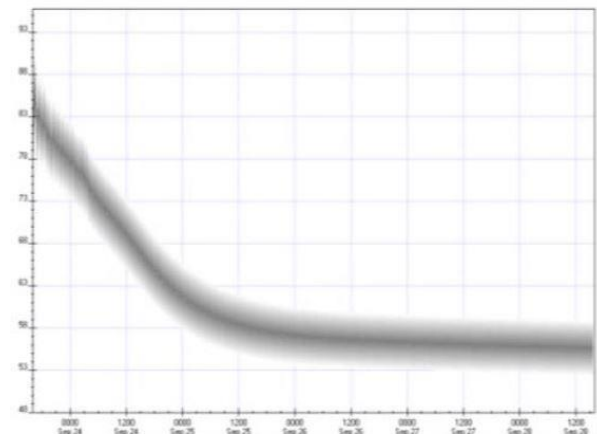
Εικόνα 3.4.19 : Διάγραμμα όγκου πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / SpillSolver App



Εικόνα 3.4.20 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα/ SpillSolver App



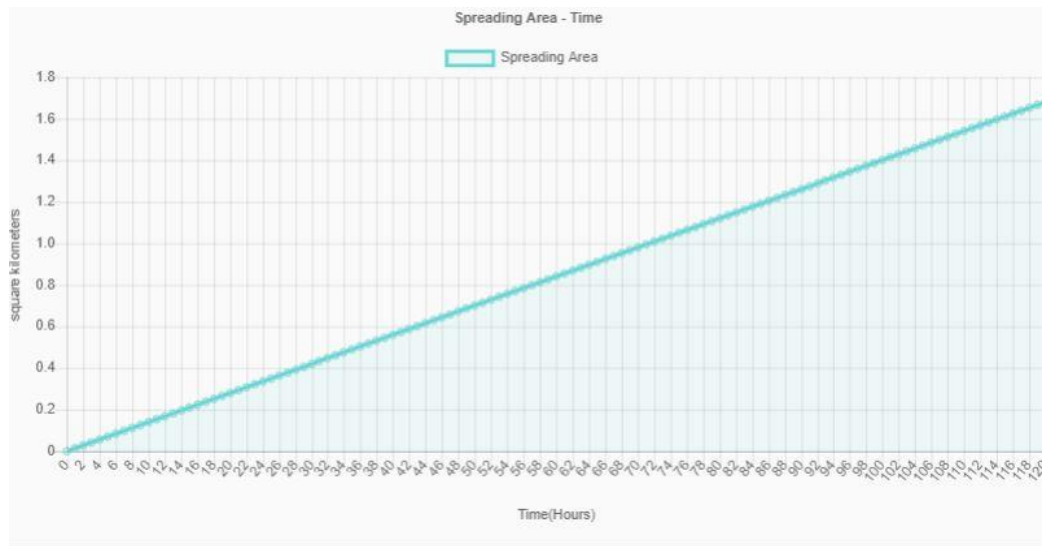
Εικόνα 3.4.21 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / SpillSolver 2.0



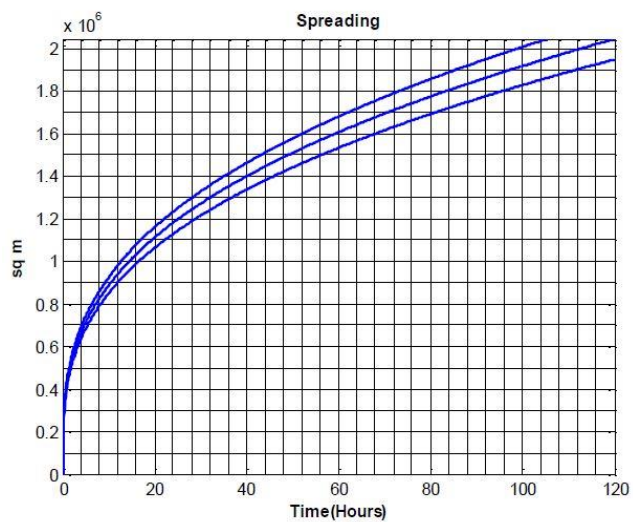
Εικόνα 3.4.22 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / ADIOS 2

Παρατηρούμε ότι όλες οι καμπύλες παρουσιάζουν παρόμοια μορφή.

## ➤ Εξάπλωση



Εικόνα 3.4.23 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver App

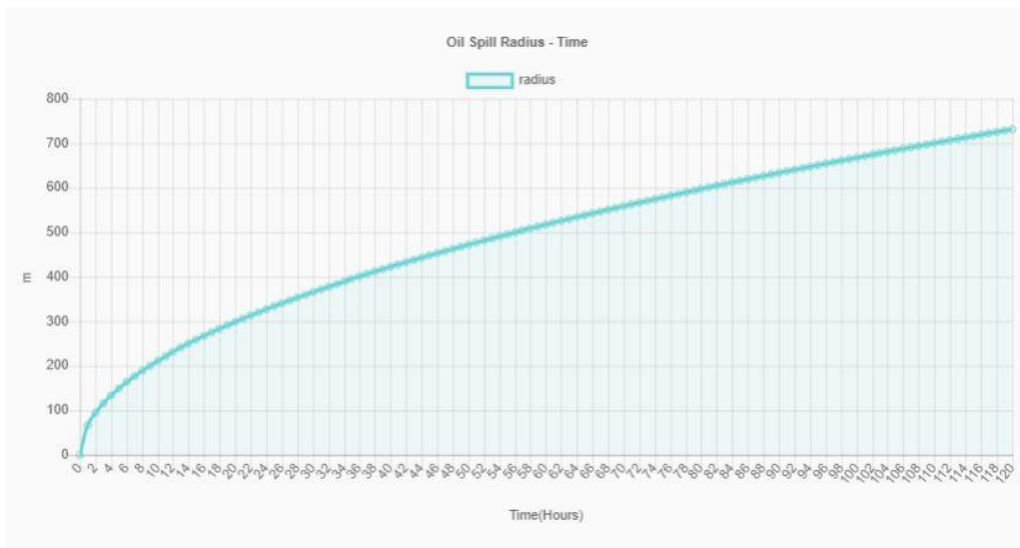


Εικόνα 3.4.24 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver 2.0

Η μορφή των καυλών δεν μεταβάλλεται σε σχέση με το σενάριο 1.

Το SpillSolver App εξάγει και ένα διάγραμμα της ακτίνας της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας θεωρώντας την ως κυκλική.

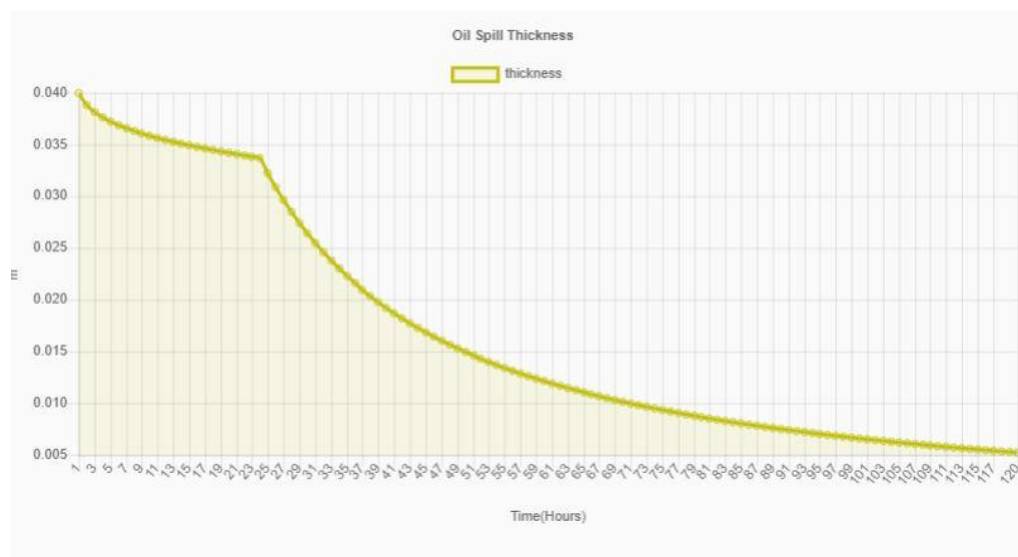




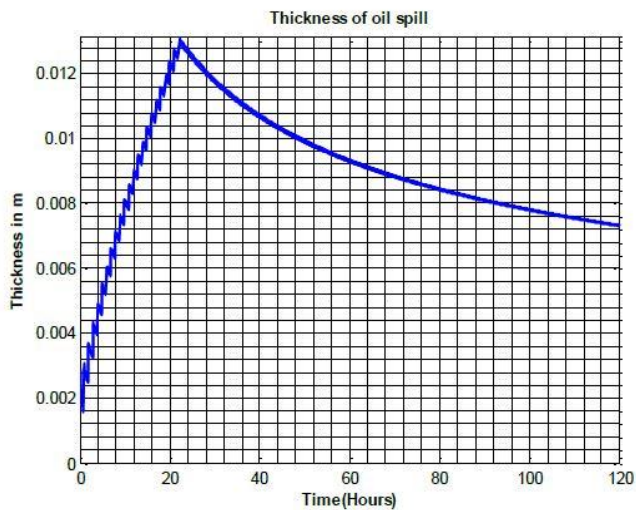
Εικόνα 3.4.25 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver App

### ➤ Πάχος πετρελαιοκηλίδας

Παρουσιάζονται τα διαγράμματα του πάχους της πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει του χρόνου όπως προκύπτουν από τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0.



Εικόνα 3.4.26 : Διάγραμμα πάχους επιφάνειας πετρελαίου – χρόνου / SpillSolver App



Εικόνα 3.4.27 : Διάγραμμα πάχους επιφάνειας πετρελαίου / SpillSolver 2.0

Παρατηρούμε ότι η μορφή των δύο καμπυλών δεν μεταβλήθηκε σε σχέση με το σενάριο 1.

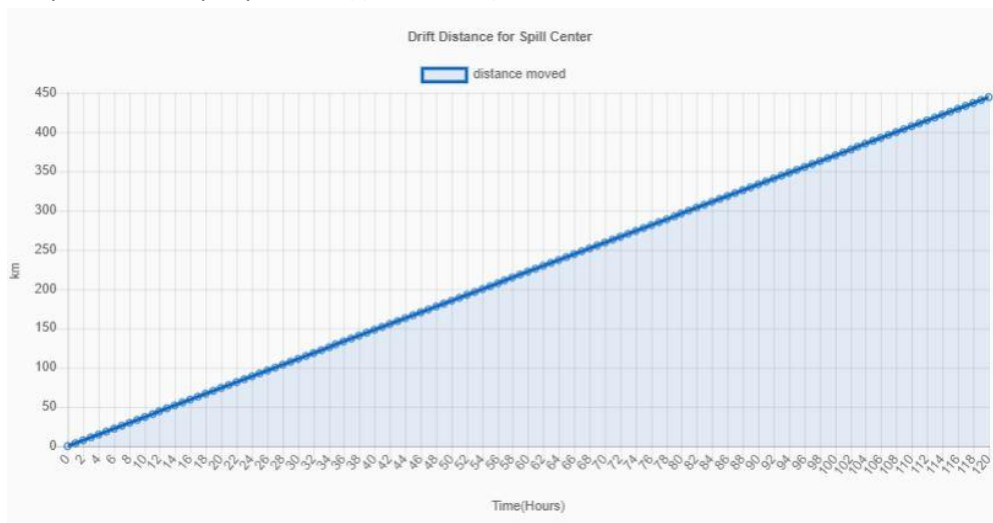
Οι τελικές τιμές του πάχους της πετρελαιοκηλίδας μετά από πέντε μέρες μελέτης είναι:

Πίνακας 3.4.2 : Πάχος πετρελαιοκηλίδας

SpillSolver App	SpillSolver 2.0
0.0058 m	0.007 m

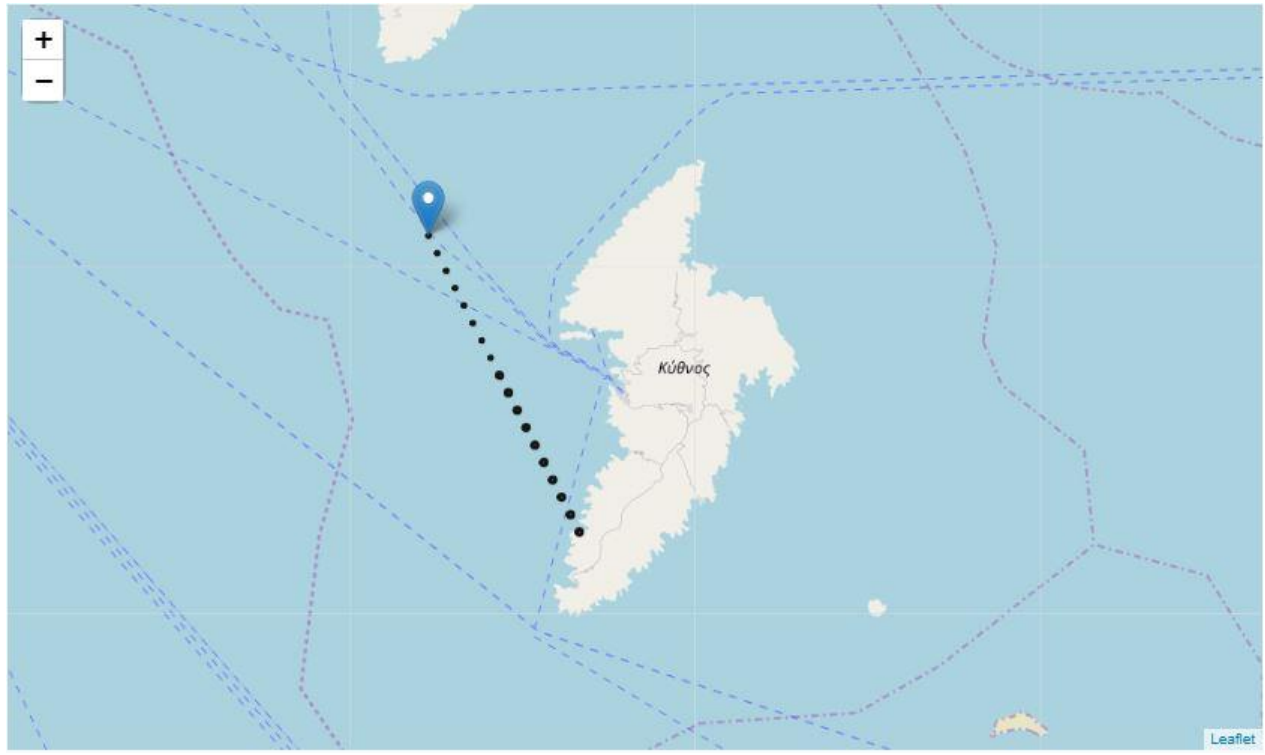
➤ **Μέγιστη Μετατόπιση της πετρελαιοκηλίδας**

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η μετατόπιση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας λόγω του ανέμου και των ρευμάτων της θάλασσας.

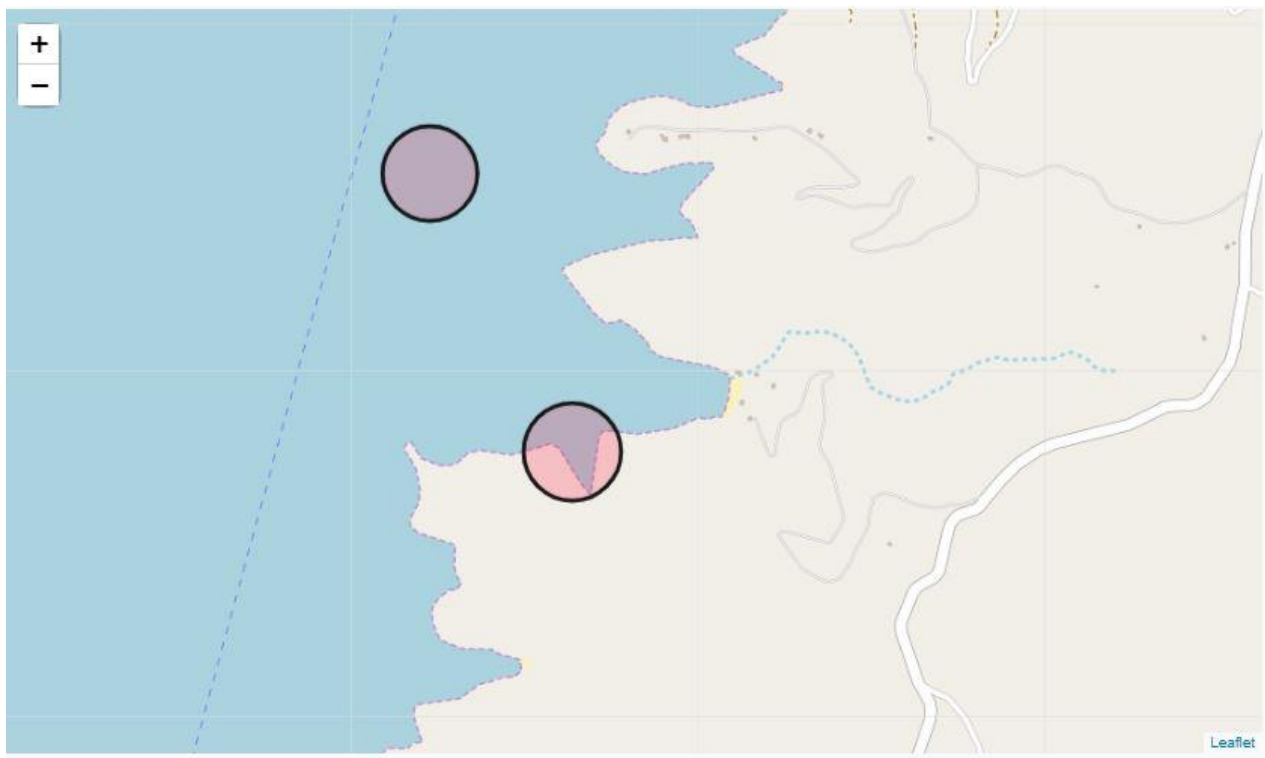


Εικόνα 3.4.28 : Διάγραμμα μετατόπισης επιφάνειας πετρελαίου / SpillSolver App

➤ Απεικόνιση της πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη



Εικόνα 3.4.29 : Απεικόνιση εξάπλωσης-μετατόπισης πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη / SpillSolver App



Εικόνα 3.4.30 : Απεικόνιση εξάπλωσης-μετατόπισης πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη / SpillSolver App

### 3.5 Σενάριο 4<sup>ο</sup>

Οι παράμετροι που εφαρμόστηκαν είναι:

#### User Input Data :

##### Oil

Type : Kuwait  
Density : 976.0 kg/cu m  
Viscosity : 10.3 cStokes

##### Wind

Speed : 8.0 kn = 3 beaufort = 4.1 m/s = 14.8 km/h  
Direction : North

##### Water

Temperature : 12 celcius  
Density : 1025 kg / cu m  
Salinity : 3.5 %  
Sediment Load : 5 mg / l  
Current Speed : 0.6 knots  
Current Direction : NorthWest

##### Release

Released Volume/Mass : 13000 ton  
Release Duration : 24 hours

Spill Coordinates : 24.297956 lat, 37.452444 lon

Εικόνα 3.5.1 : Παράμετροι σεναρίου 4

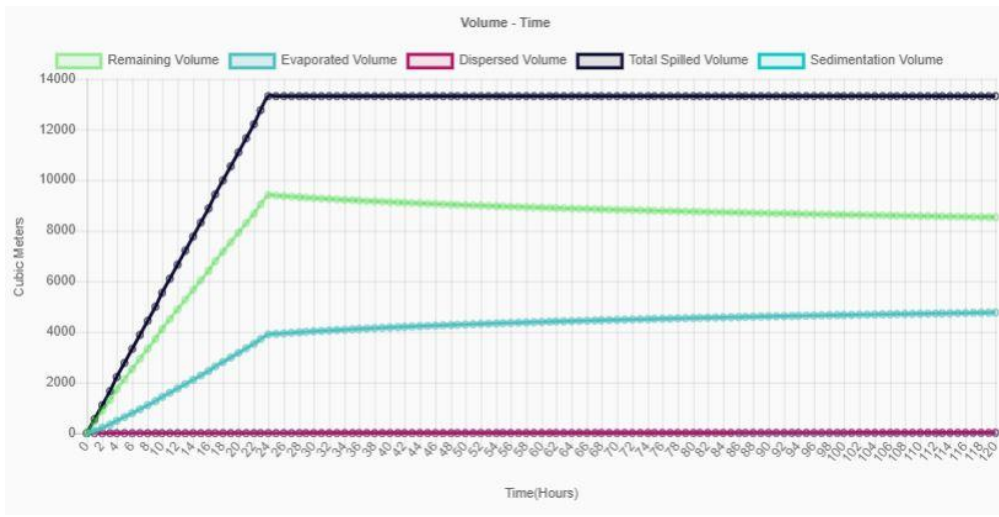
Ακολουθούν συνοπτικά τα αριθμητικά αποτελέσματα της εφαρμογής

	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5
Spilled Volume [cu.m]	13319.672	13319.672	13319.672	13319.672	13319.672
Remaining Volume [cu.m]	9411.767	9035.503	8813.784	8655.371	8531.664
Remaining Percentage	70.646	67.804	66.122	64.914	63.966
Evaporated Volume [cu.m]	3903.311	4275.343	4492.968	4647.376	4767.144
Evaporated Percentage	29.305	32.098	33.732	34.891	35.79
Dispersed Volume [cu.m]	4.594	8.826	12.92	16.925	20.864
Dispersed Percentage	0.049	0.098	0.146	0.195	0.244
Sedimentation Volume [cu.m]	0.0028	0.0056	0.0083	0.0111	0.0139
Emulsification Volume [cu.m]	7529.391	7529.391	7529.391	7529.391	7529.391
Emulsification Percentage	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Spreading Area [sq.km]	0.311	0.622	0.934	1.245	1.556
Drift Movement Distance [km]	35.034	70.067	105.101	140.134	175.168
Thickness [m]	0.030243	0.014517	0.00944	0.006953	0.005483
Density [kg/cu.m]	1021.342	1020.99	1020.785	1020.64	1020.527
Viscosity [cStokes]	683.173	683.191	683.191	683.191	683.191
Shore Stranding Maximum Volume [cu.m.]			0		

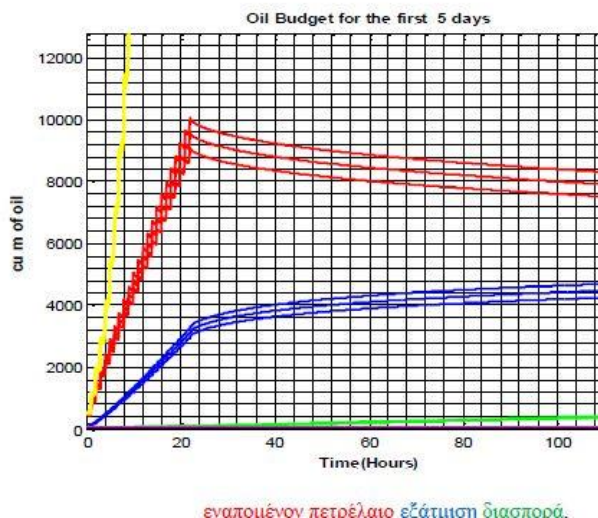
Εικόνα 3.5.2 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

➤ **Συνολικό διάγραμμα όγκων:**

Ακολουθεί το συνολικό διάγραμμα όγκων όπως προκύπτει από το κάθε πρόγραμμα:

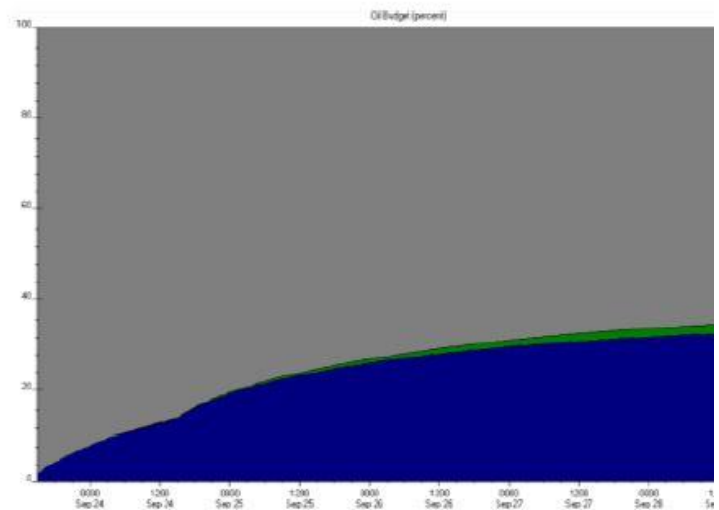


Εικόνα 3.5.3 : Διάγραμμα όγκων / SpillSolver App



εναπομένον πετρέλαιο εξάτμιση διασπορά.

Εικόνα 3.5.5 : Διάγραμμα όγκων / SpillSolver 2.0

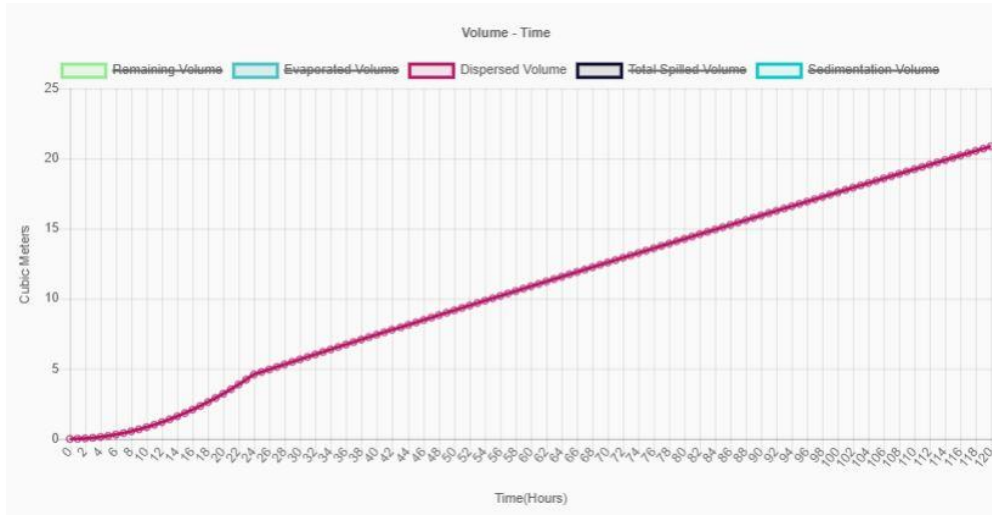


Εικόνα 3.5.4 : Διάγραμμα όγκων / ADIOS 2

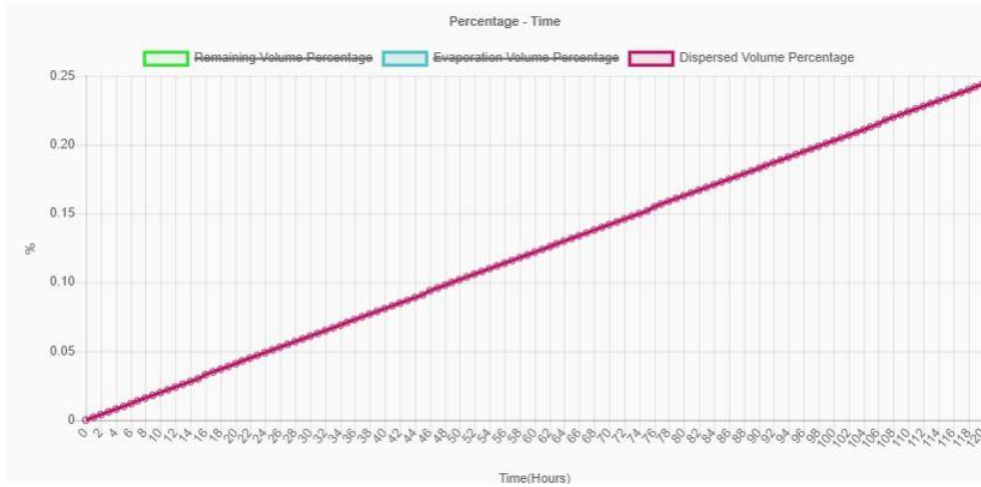
Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα τρία προγράμματα έχουν παρόμοια μορφή.

Στο σενάριο αυτό το πετρέλαιο που διαρρέει είναι βαρύτερο και κατά συνέπεια ο όγκος του είναι μειωμένος σε σχέση με ένα ελαφρύτερο πετρέλαιο, όπως στο σενάριο 1.

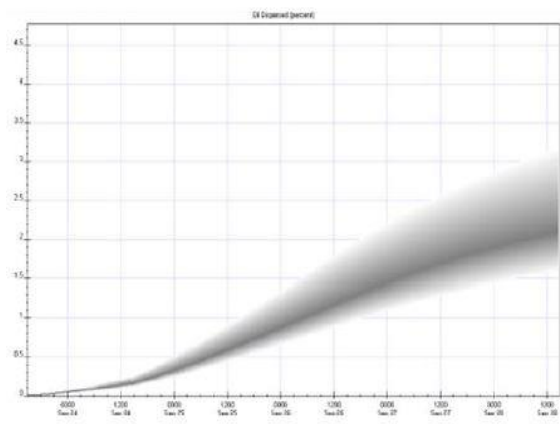
➤ Διασπορά



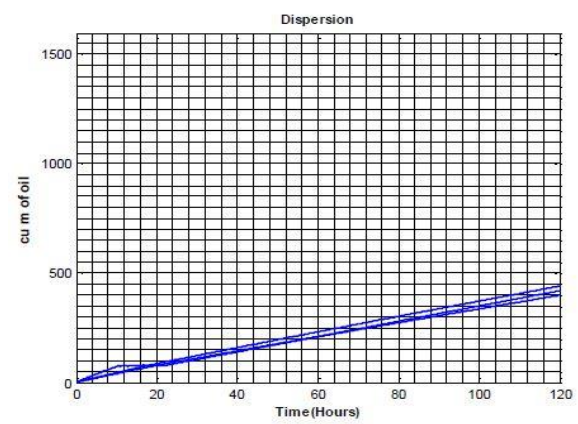
Εικόνα 3.5.6 : Διάγραμμα όγκου διασποράς / SpillSolver App



Εικόνα 3.5.7 : Διάγραμμα ποσοστού διασποράς / SpillSolver App



Εικόνα 3.5.8 : Διάγραμμα ποσοστού διασποράς / ADIOS 2



Εικόνα 3.5.9 : Διάγραμμα όγκου διασποράς / SpillSolver 2.0



Οι τιμές του ποσοστού διασποράς στο τέλος της πέμπτης μέρας, για το κάθε πρόγραμμα είναι:

Πίνακας 3.5.1 : Ποσοστά διασποράς

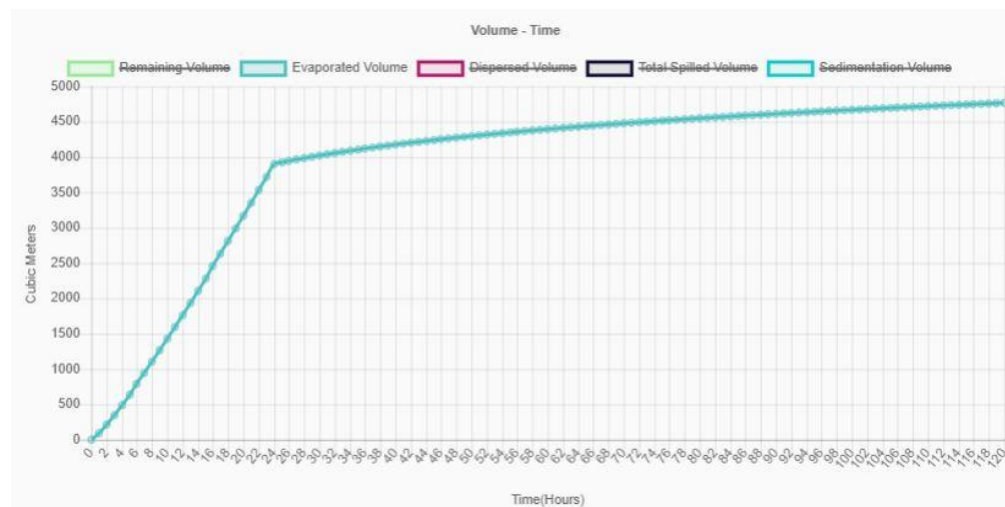
SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
0.244 %	3.28 %	2.4 %

Όσον αφορά στον όγκο του πετρελαίου που θα υποστεί διασπορά είναι με βάση το SpillSolver App 20.846 m<sup>3</sup> , ενώ με βάση το SpillSolver 2.0 φτάνει τα 400 m<sup>3</sup> .

Η αβεβαιότητα λοιπόν για το ποσοστό και τον όγκο της διασποράς είναι αρκετά μεγάλη.

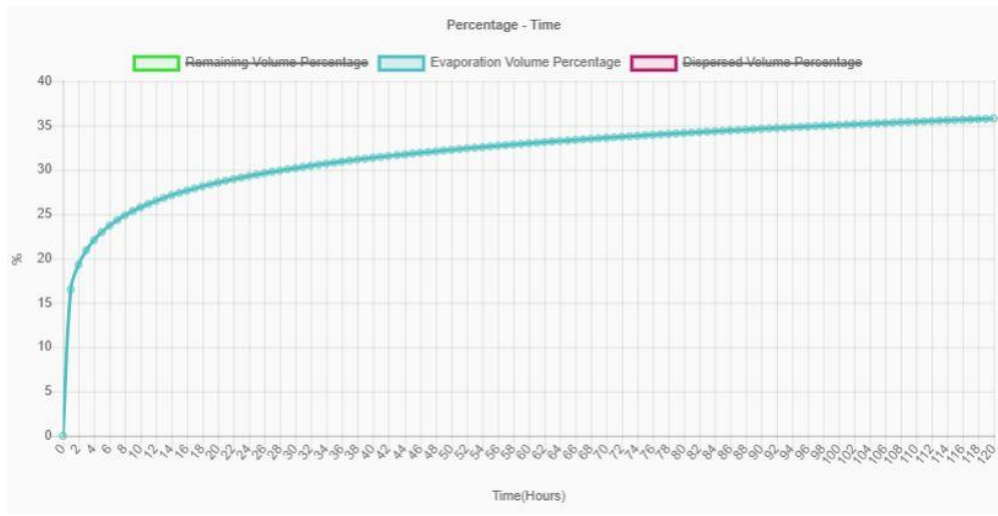
### ➤ Εξάτμιση

Ακολουθούν τα διαγράμματα όγκου εξάτμισης – χρόνου και ποσοστού εξάτμισης – χρόνου, όπως αυτά προκύπτουν από τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0 και το διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης – χρόνου όπως προκύπτει από το ADIOS 2.

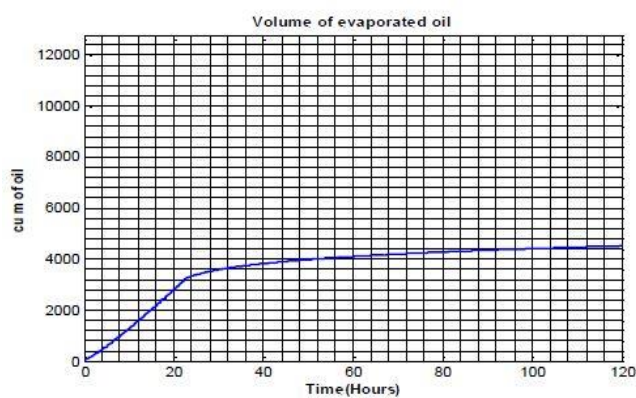


Εικόνα 3.5.10 : Διάγραμμα όγκου εξάτμισης / SpillSolver App

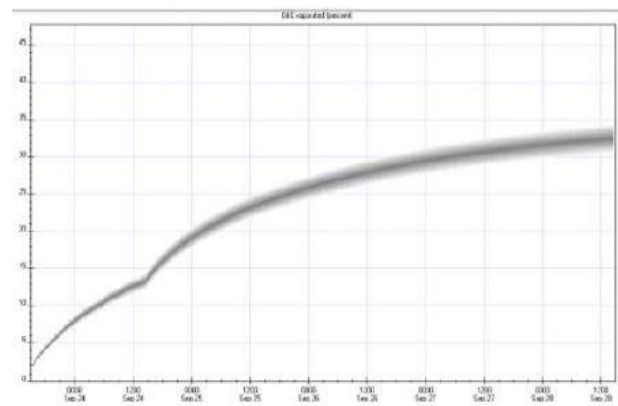




Εικόνα 3.5.11 : Διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης / SpillSolver App



Εικόνα 3.5.12 : Διάγραμμα όγκου εξάτμισης / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.5.13 : Διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης / ADIOS 2

Η τιμή του ποσοστού εξάτμισης όπως προκύπτει από το κάθε πρόγραμμα είναι:

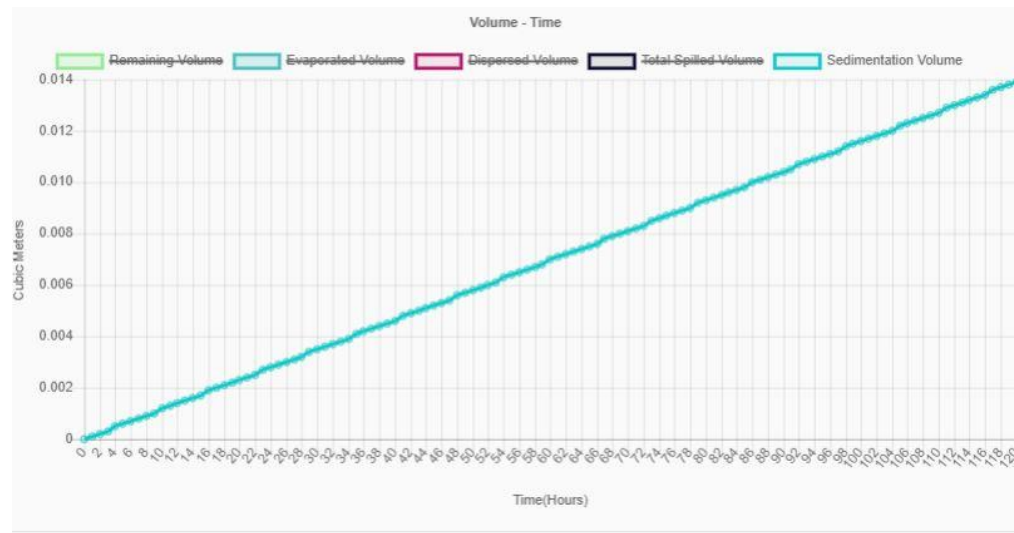
Πίνακας 3.5.2 : Ποσοστά εξάτμισης

SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
35.79 %	35.4 %	34 %

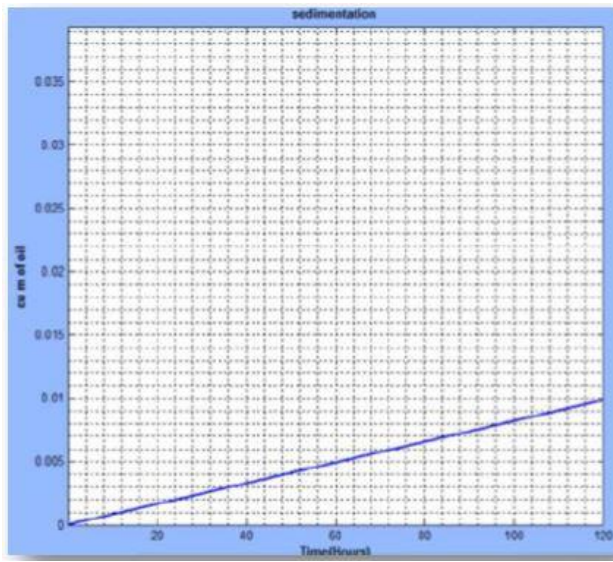
Και τα τρία προγράμματα παράγουν διαγράμματα ίδιας μορφής, δείχνοντας ότι τις πρώτες 24 ώρες ο ρυθμός εξάτμισης είναι μεγαλύτερος.

## ➤ Ιζηματοποίηση

Ακολουθούν τα διαγράμματα του όγκου ιζηματοποίησης όπως προκύπτουν από τα SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App.



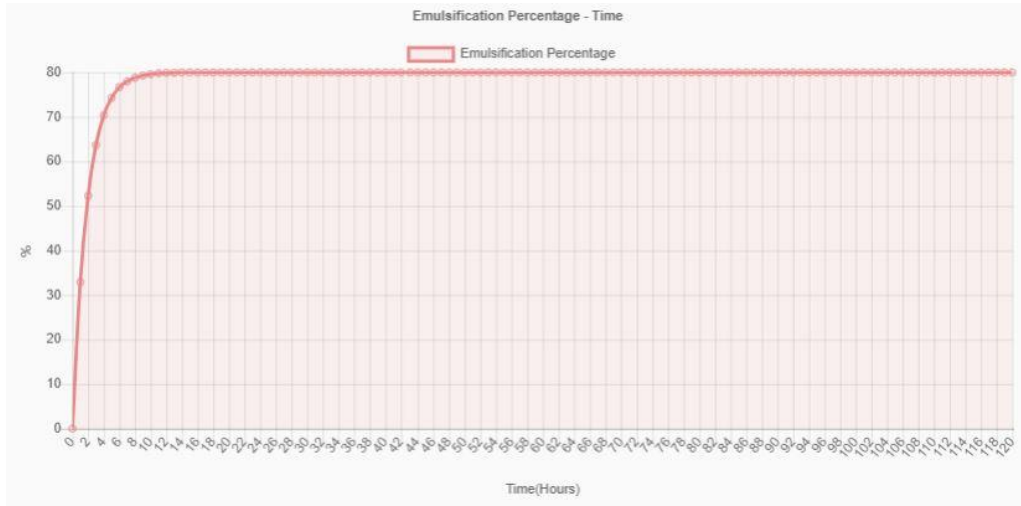
Εικόνα 3.5.14 : Διάγραμμα όγκου ιζηματοποίησης / SpillSolver App



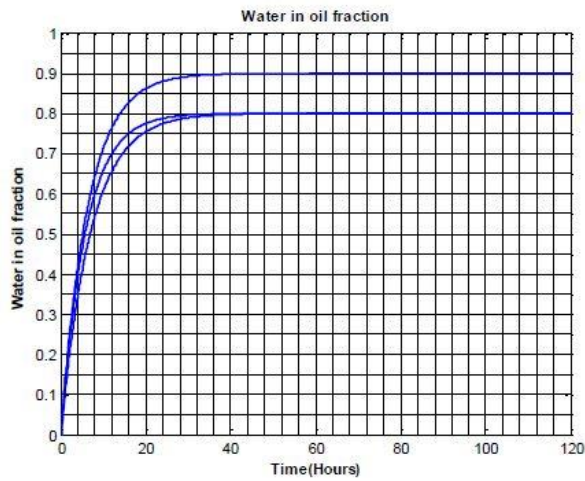
Εικόνα 3.5.15 : Διάγραμμα όγκου ιζηματοποίησης / SpillSolver 2.0

Παρατηρούμε ότι τα δύο διαγράμματα έχουν παρόμοια μορφή.

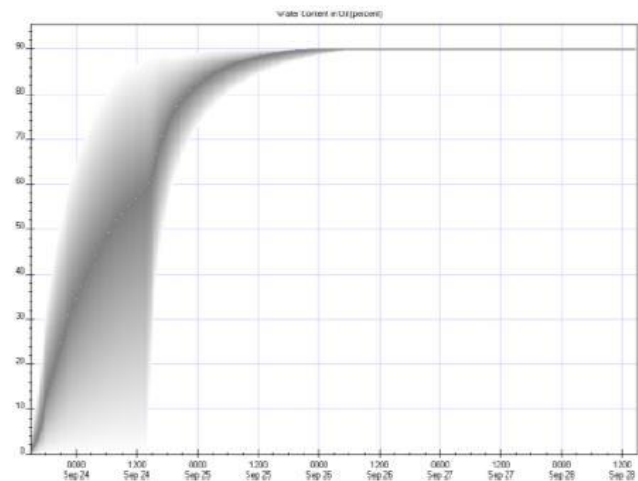
➤ Γαλακτωματοποίηση



Εικόνα 3.5.16 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / SpillSolver App



Εικόνα 3.5.17 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.5.18 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / ADIOS 2

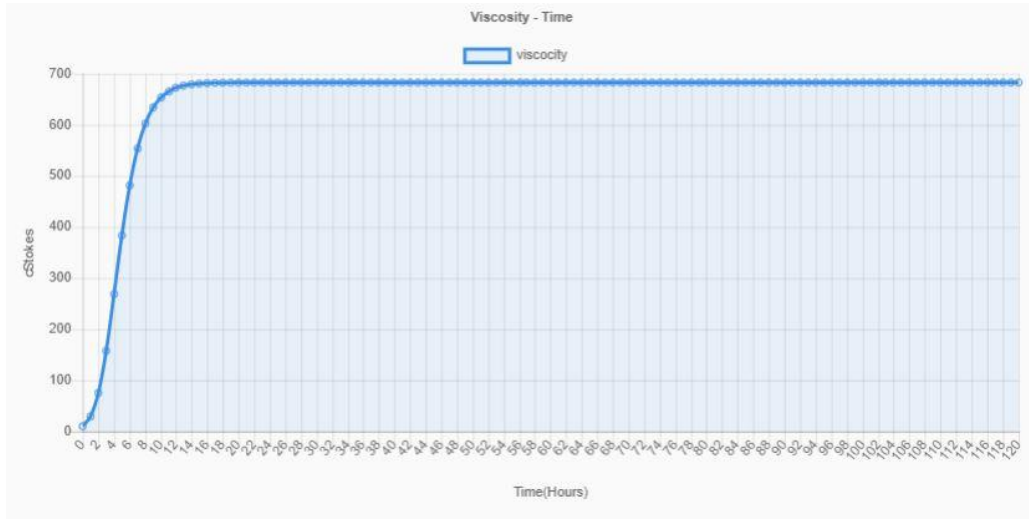
Και τα τρία διαγράμματα έχουν παρόμοια μορφή η οποία είναι παρόμοια με αυτή του σεναρίου 1. Το τελικό ποσοστό γαλακτωματοποίησης λαμβάνει τις εξής τιμές:

Πίνακας 3.5.3 : Ποσοστά γαλακτωματοποίησης

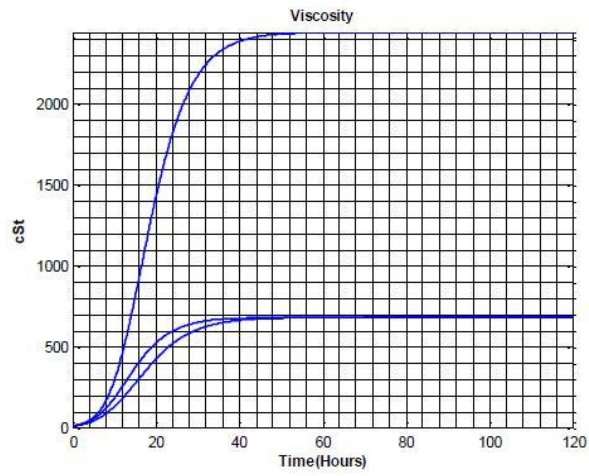
SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
80 %	80-90 %	90 %

Η αβεβαιότητα του τελικού αποτελέσματος παραμένει στο 10%.

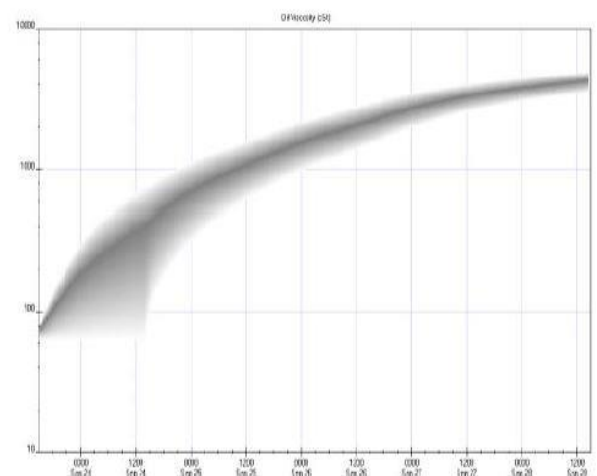
➤ **Ιξώδες Πετρελαίου**



**Εικόνα 3.5.19 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου – χρόνος / SpillSolver App**



**Εικόνα 3.5.20 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / SpillSolver 2.0**



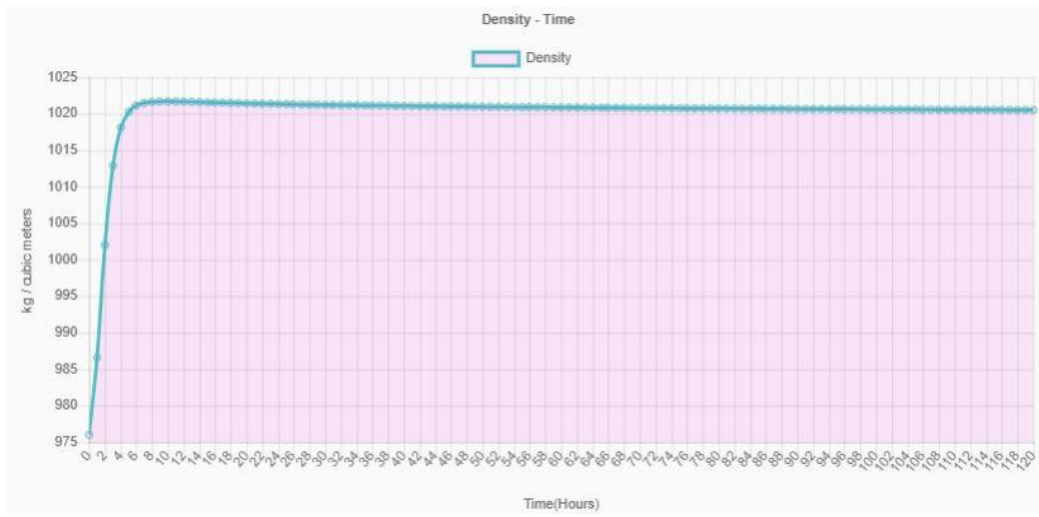
**Εικόνα 3.5.21 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / ADIOS 2**

Οι τιμές του ιξώδους που προκύπτουν από το κάθε πρόγραμμα είναι:

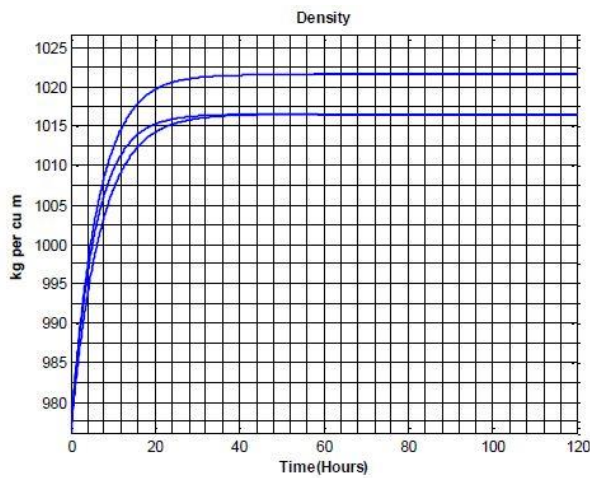
**Πίνακας 3.5.4 : Τιμές ιξώδους πετρελαιοκηλίδας**

SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
683.19 cSt	700-2500 cSt	6000 cSt

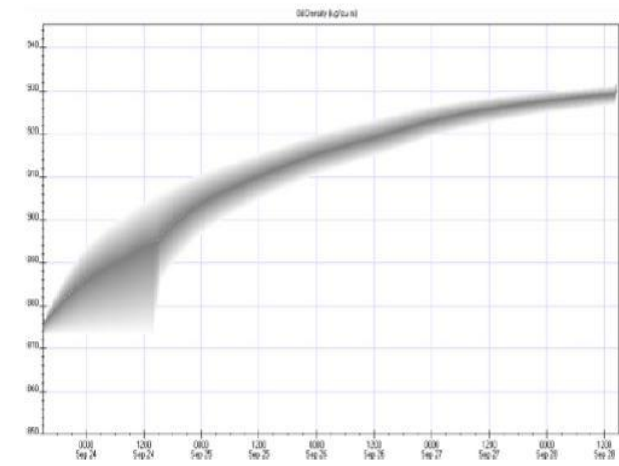
➤ Πυκνότητα Πετρελαίου



Εικόνα 3.5.22 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / SpillSolver App



Εικόνα 3.5.23 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.5.24 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / ADIOS 2

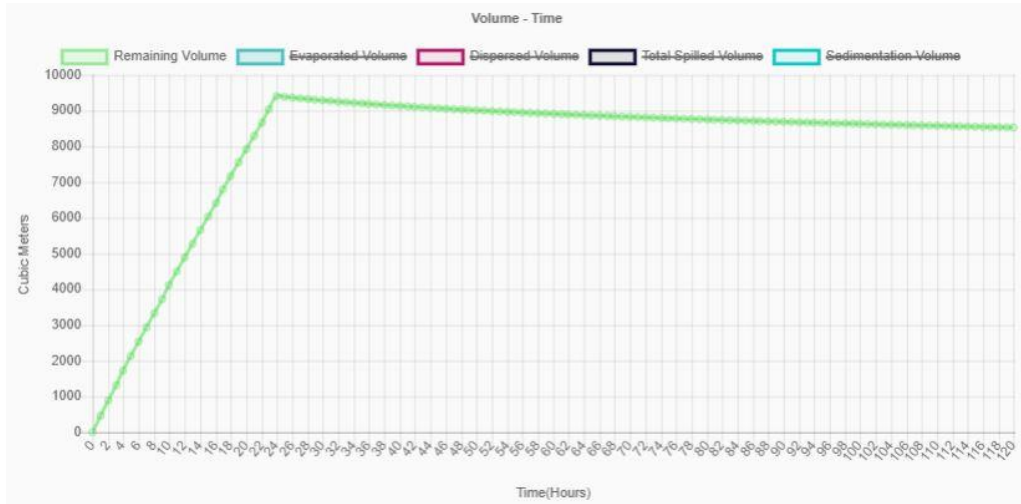
Στο σενάριο αυτό παρατηρούμε ότι οι καμπύλες πυκνότητας – χρόνου που προκύπτουν από τα τρία προγράμματα δεν έχουν ίδια μορφή και η αβεβαιότητα του μοντέλου μεγαλώνει.

Οι τιμές της τελικής πυκνότητας του πετρελαίου όπως προκύπτουν από το κάθε πρόγραμμα είναι:

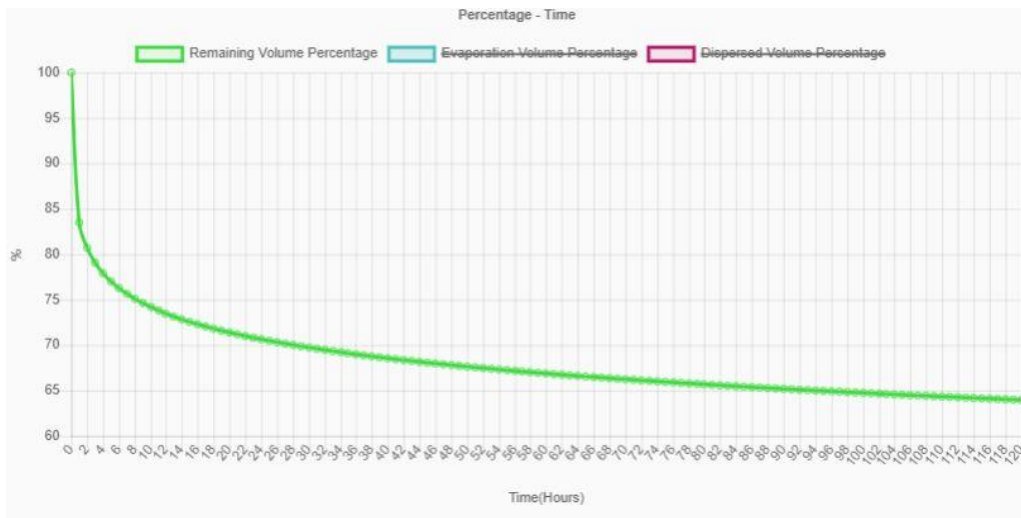
Πίνακας 3.5.5 : Τιμές πυκνότητας

SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
1021.28 kg/m <sup>3</sup>	1000 kg/m <sup>3</sup>	1013.9 kg/m <sup>3</sup>

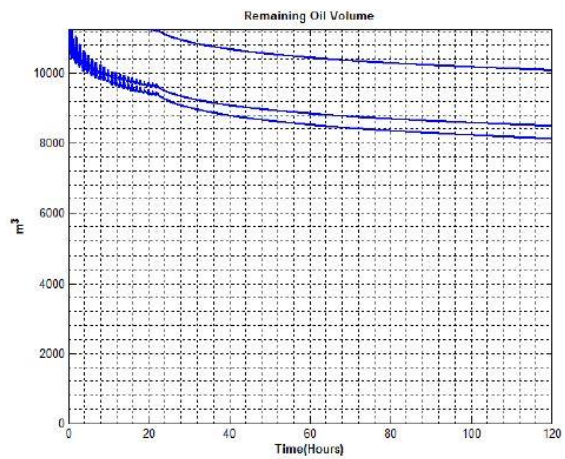
➤ **Εναπομένων Όγκος Πετρελαίου**



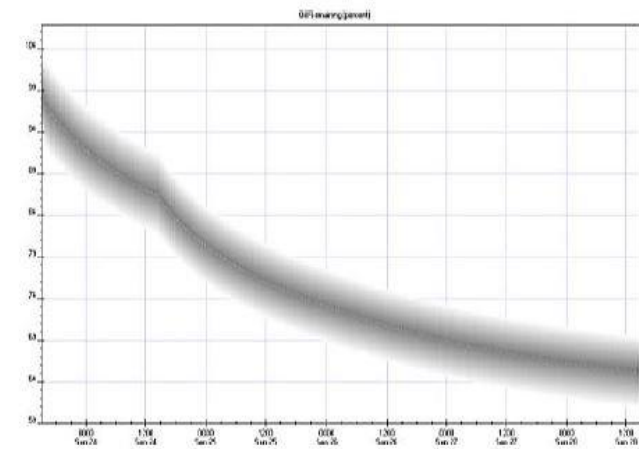
**Εικόνα 3.5.25 : Διάγραμμα όγκου πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / SpillSolver App**



**Εικόνα 3.5.26 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα/ SpillSolver App**



**Εικόνα 3.5.27 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / SpillSolver 2.0**



**Εικόνα 3.5.28 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / ADIOS 2**

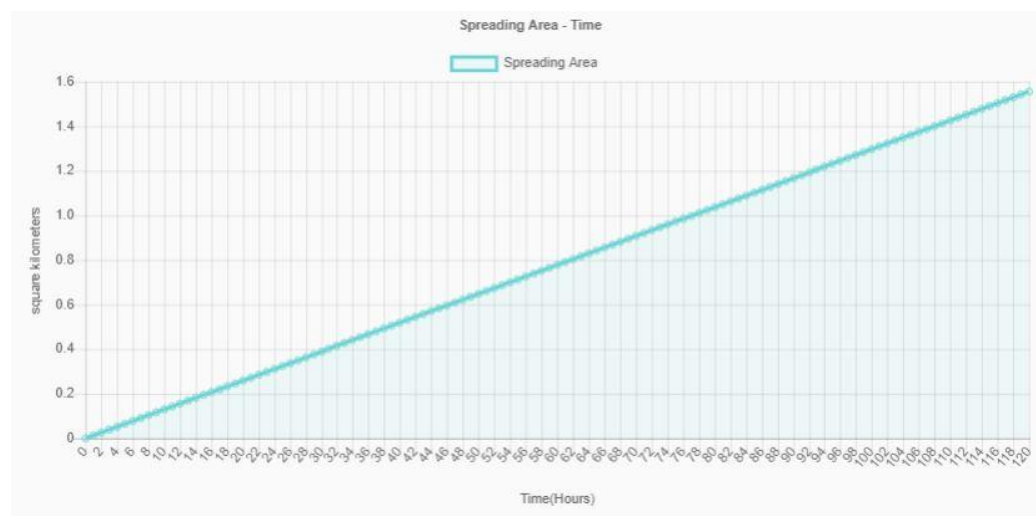


Το ποσοστό του πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα είναι:

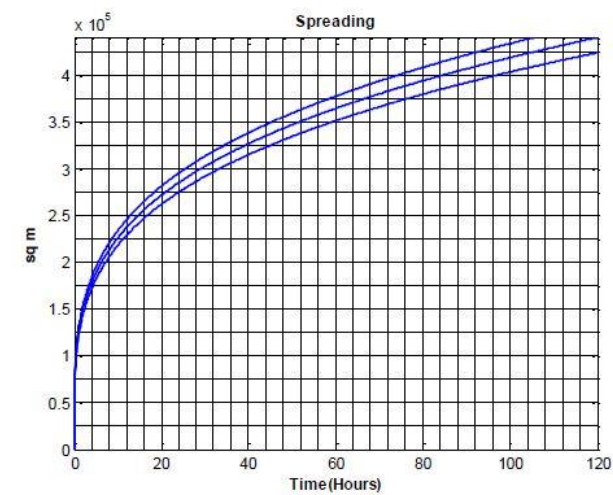
Πίνακας 3.5.6 : ποσοστό του πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα

SpillSolver App	ADIOS 2
64.053 %	64 %

➤ **Εξάπλωση**



Εικόνα 3.5.29 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver App



Εικόνα 3.5.30 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver 2.0

Οι τελικές τιμές της επιφάνειας της , στο τέλος της πέμπτης μέρας μελέτης είναι:

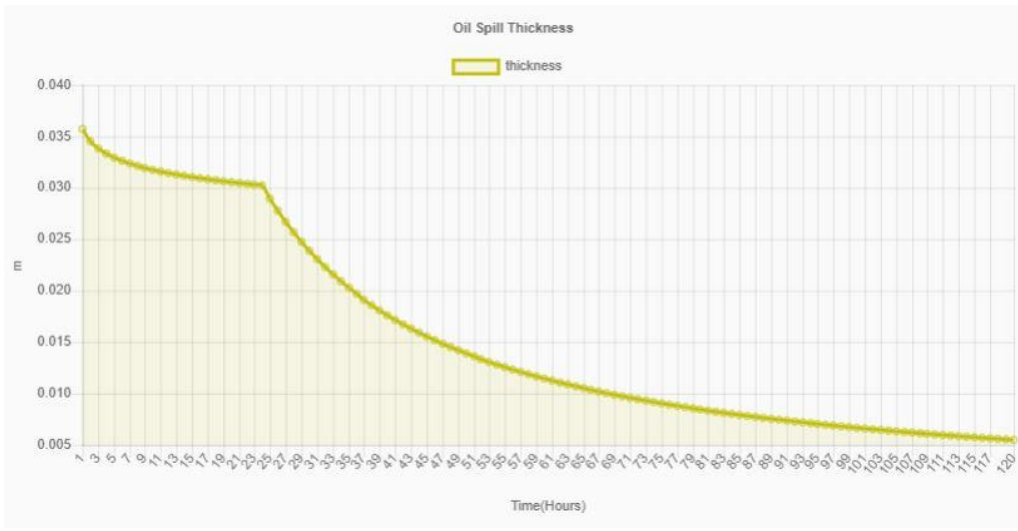
Πίνακας 3.5.7 : Επιφάνεια πετρελαιοκηλίδας

SpillSolver App	SpillSolver 2.0
1.556 km <sup>2</sup>	0.44 km <sup>2</sup>

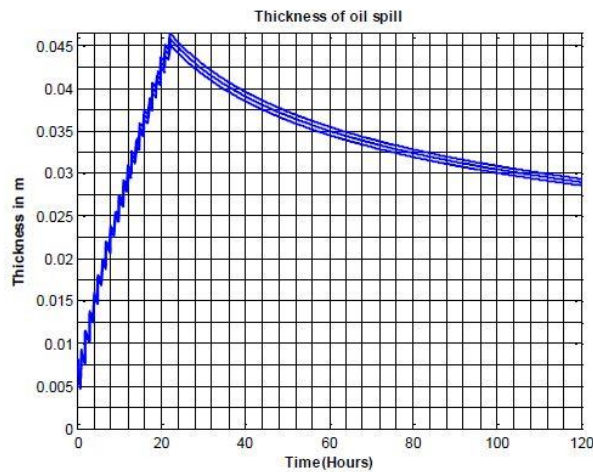


### ➤ Πάχος πετρελαιοκηλίδας

Παρουσιάζονται τα διαγράμματα του πάχους της πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει του χρόνου όπως προκύπτουν από τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0.



Εικόνα 3.5.31 : Διάγραμμα πάχους επιφάνειας πετρελαίου – χρόνου / SpillSolver App



Εικόνα 3.5.32 : Διάγραμμα πάχους επιφάνειας πετρελαίου / SpillSolver 2.0

Παρατηρούμε ότι η μορφή των δύο καμπυλών δεν μεταβλήθηκε σε σχέση με το σενάριο 1.

Για πετρέλαιο μεγαλύτερης πυκνότητας, το SpillSolver 2.0 δίνει μεγαλύτερες τιμές του πάχους σε αντίθεση με το SpillSolver App στο οποίο δεν παρουσιάζεται μεγάλη αλλαγή σε σχέση με το σενάριο 1.

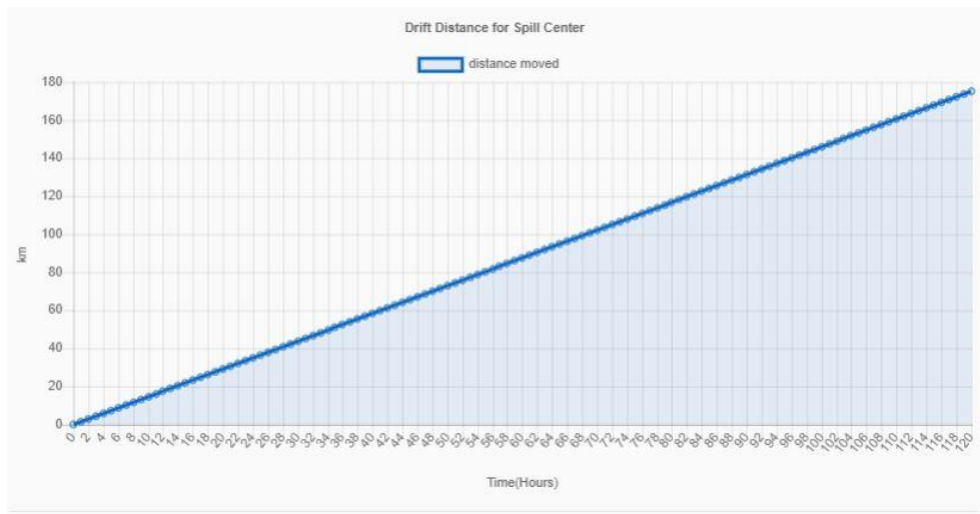
Το πάχος της πετρελαιοκηλίδας μετά από πέντε μέρες μελέτης είναι:

Πίνακας 3.5.8 : Πάχος πετρελαιοκηλίδας

SpillSolver App	SpillSolver 2.0
0.0054 m	0.028 m

### ➤ Μέγιστη Μετατόπιση της πετρελαιοκηλίδας

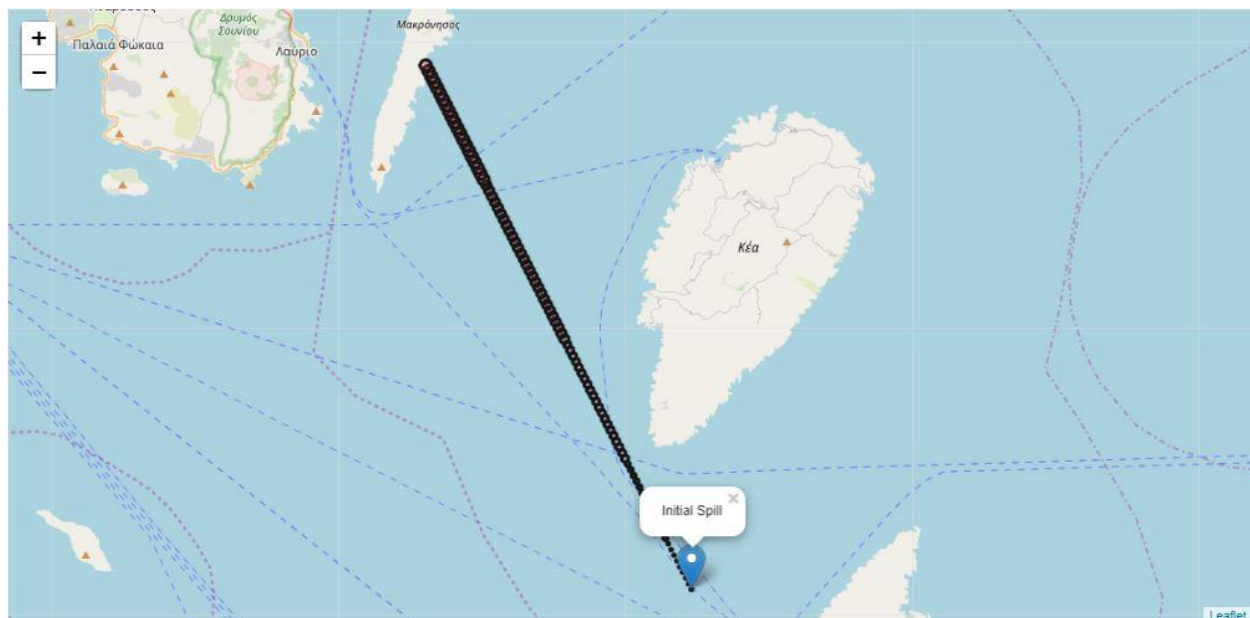
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η μετατόπιση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας λόγω του ανέμου και των ρευμάτων της θάλασσας.



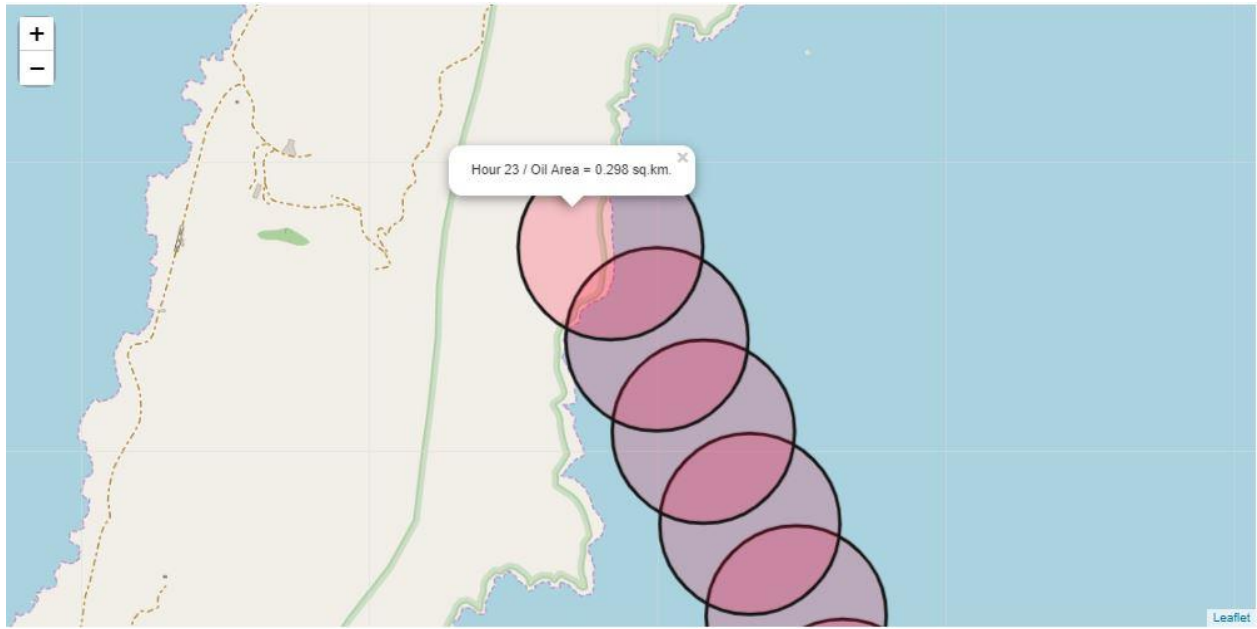
Εικόνα 3.5.33 : Διάγραμμα μετατόπισης επιφάνειας πετρελαίου / SpillSolver App

Η κίνηση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας είναι γραμμική ως προς το χρόνο.

### ➤ Απεικόνιση της πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη



Εικόνα 3.5.34 : Απεικόνιση εξάπλωσης-μετατόπισης πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη / SpillSolver App



Εικόνα 3.5.35 : Απεικόνιση εξάπλωσης-μετατόπισης πετρελαικηλίδας σε χάρτη / SpillSolver App

### 3.6 Σενάριο 5°

Οι παράμετροι που εφαρμόστηκαν είναι:

<b>User Input Data :</b>
<b>Oil</b>
Type : Sarir
Density : 833.0 kg/cu m
Viscosity : 3.62 cStokes
<b>Wind</b>
Speed : 8.0 kn = 3 beaufort = 4.1 m/s = 14.8 km/h
Direction : NorthWest
<b>Water</b>
Temperature : 12 celcius
Density : 1025 kg / cu m
Salinity : 3.5 %
Sediment Load : 5 mg / l
Current Speed : 0.5 knots
Current Direction : North
<b>Release</b>
Released Volume/Mass : 200 ton
Release Duration : 0 hours
Spill Coordinates : 24.297956 lat, 37.452444 lon

Εικόνα 3.6.1 – Παράμετροι σεναρίου 5

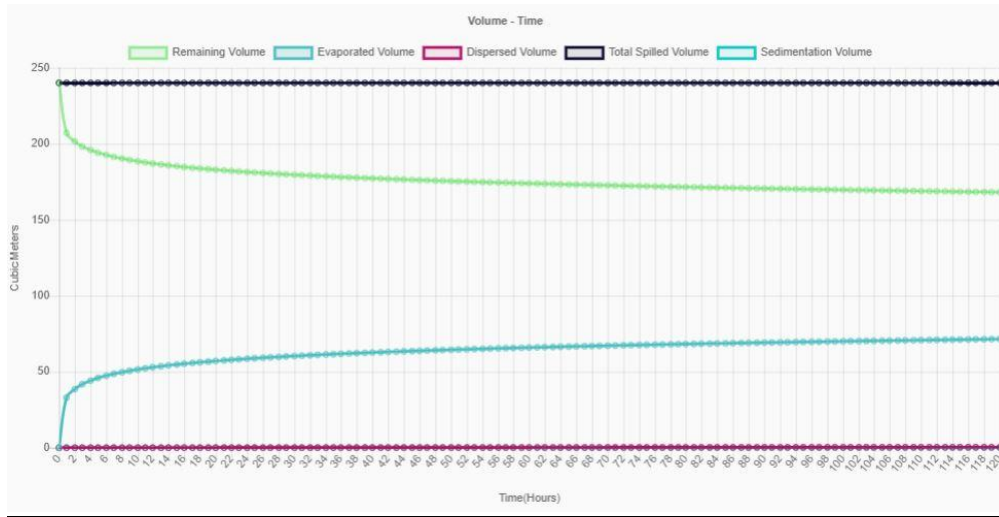
Ακολουθούν συνοπτικά τα αριθμητικά αποτελέσματα της εφαρμογής

	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5
Spilled Volume [cu.m]	240.096	240.096	240.096	240.096	240.096
Remaining Volume [cu.m]	181.46	175.796	172.451	170.055	168.18
Remaining Percentage	75.566	73.193	71.785	70.771	69.974
Evaporated Volume [cu.m]	58.548	64.128	67.392	69.708	71.505
Evaporated Percentage	24.385	26.709	28.069	29.033	29.782
Dispersed Volume [cu.m]	0.089	0.172	0.253	0.333	0.411
Dispersed Percentage	0.049	0.098	0.146	0.195	0.244
Sedimentation Volume [cu.m]	0.0028	0.0056	0.0083	0.0111	0.0139
Emulsification Volume [cu.m]	150.243	150.243	150.243	150.243	150.243
Emulsification Percentage	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Spreading Area [sq.km]	0.019	0.039	0.058	0.078	0.097
Drift Movement Distance [km]	30.708	61.416	92.124	122.832	153.54
Thickness [m]	0.00934	0.004524	0.002959	0.002188	0.001731
Density [kg/cu.m]	1021.956	1021.664	1021.493	1021.372	1021.278
Viscosity [cStokes]	240.106	240.112	240.112	240.112	240.112
Shore Stranding Maximum Volume [cu.m.]			0		

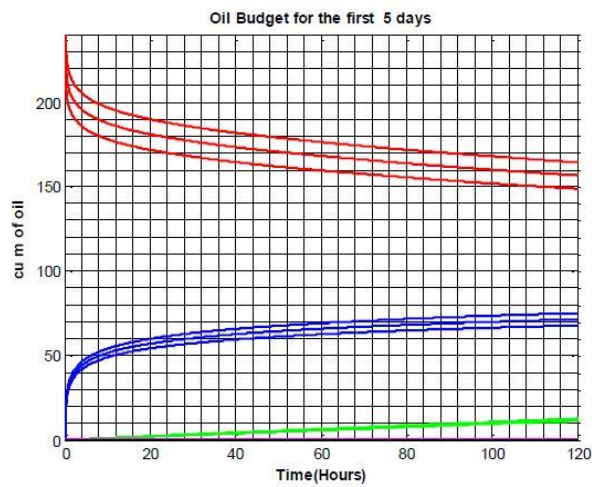
Εικόνα 3.6.2 – συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

➤ **Συνολικό διάγραμμα όγκων:**

Ακολουθεί το συνολικό διάγραμμα όγκων όπως προκύπτει από το κάθε πρόγραμμα:

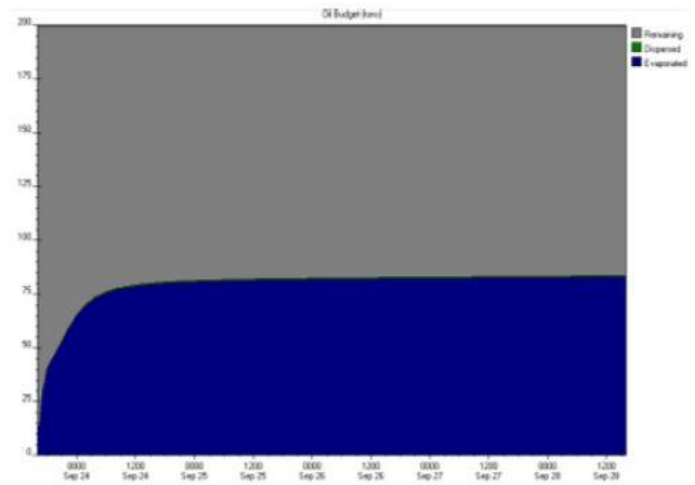


Εικόνα 3.6.3 : Διάγραμμα όγκων / SpillSolver App



εναπομένον πετρέλαιο εξάτμιση διασπορά.

Εικόνα 3.6.5 : Διάγραμμα όγκων / SpillSolver 2.0

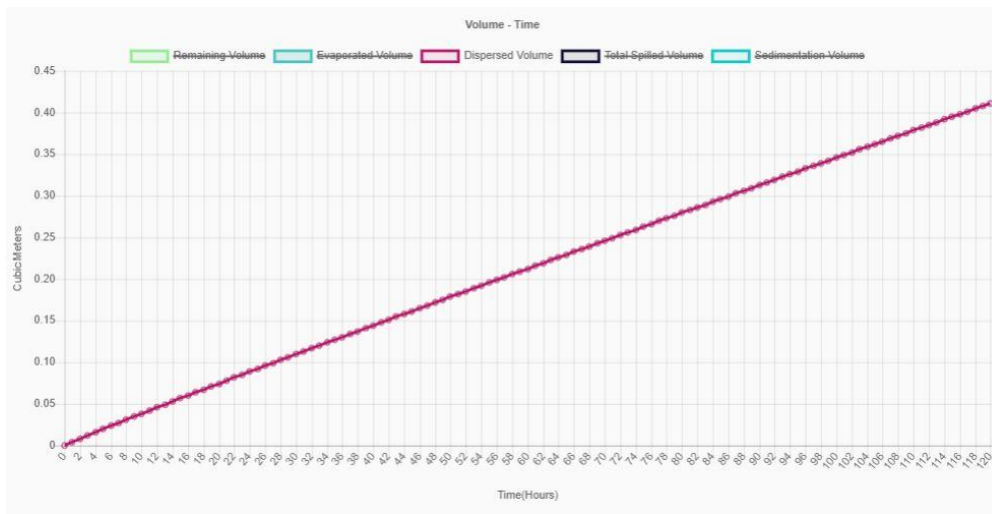


εναπομείνων πετρέλαιο εξάτμιση διασπορά

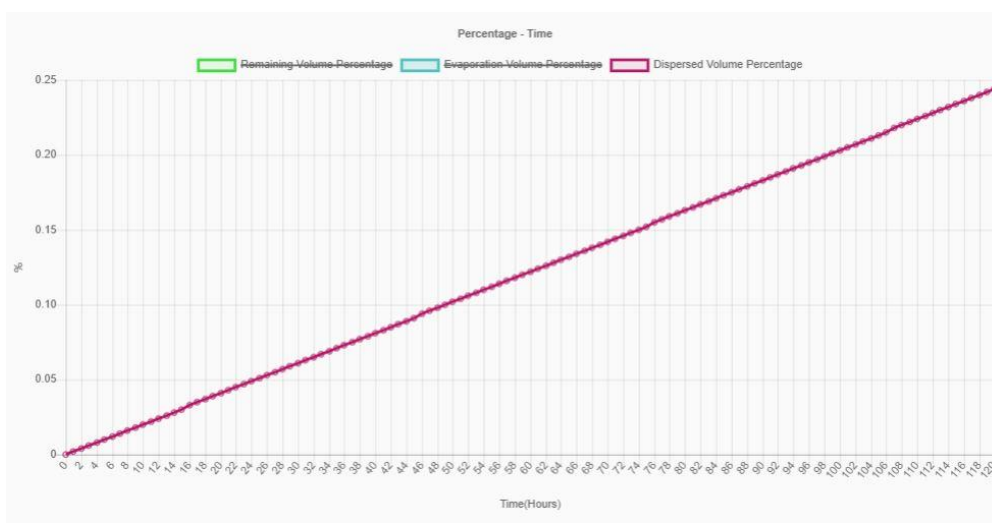
Εικόνα 3.6.4 : Διάγραμμα όγκων / ADIOS 2

## ➤ Διασπορά

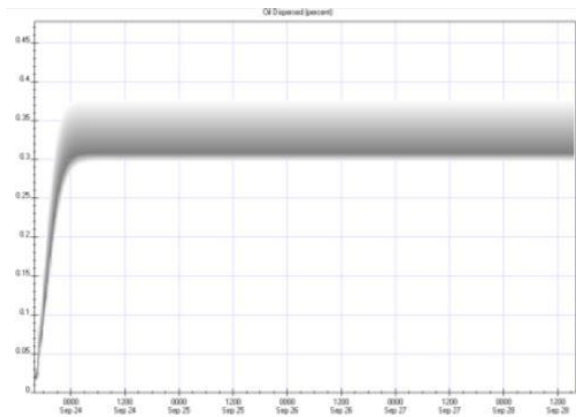
Ακολουθούν τα διαγράμματα: όγκου διασποράς – χρόνου, ποσοστού διασποράς – χρόνου, του SpillSolver App, το διάγραμμα ποσοστού διασποράς – χρόνου του ADIOS 2 και το διάγραμμα όγκου διασποράς – χρόνου του SpillSolver 2.0.



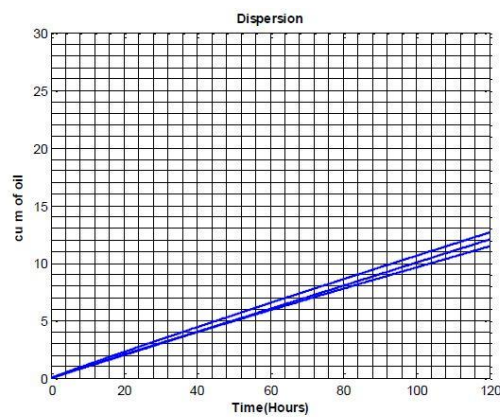
Εικόνα 3.6.6 : Διάγραμμα όγκου διασποράς / SpillSolver App



Εικόνα 3.6.7 : Διάγραμμα ποσοστού διασποράς / SpillSolver App



Εικόνα 3.6.8 : Διάγραμμα ποσοστού διασποράς / ADIOS 2



Εικόνα 3.6.9 : Διάγραμμα όγκου διασποράς / SpillSolver 2.0

Παρατηρούμε ότι οι καμπύλες που προκύπτουν από τα SpillSolver App, SpillSolver 2.0 είναι γραμμικές ως προς το χρόνο, εμφανίζοντας σταθερό ρυθμό διασποράς, ενώ η καμπύλη που προκύπτει από το ADIOS 2 παρουσιάζει στις πρώτες ώρες της μελέτης μεγάλο ρυθμό διασποράς, ο οποίος στη συνέχεια σταθεροποιείται.

Ο όγκος της διασποράς στο τέλος της πέμπτης μέρας φτάνει σύμφωνα με το SpillSolver 2.0 τα  $13 \text{ m}^3$ , ενώ σύμφωνα με το SpillSolver App τα  $0.411 \text{ m}^3$ .

Οι τιμές του ποσοστού διασποράς στο τέλος της πέμπτης μέρας, για το κάθε πρόγραμμα είναι:

Πίνακας 3.6.1 : Ποσοστό διασποράς

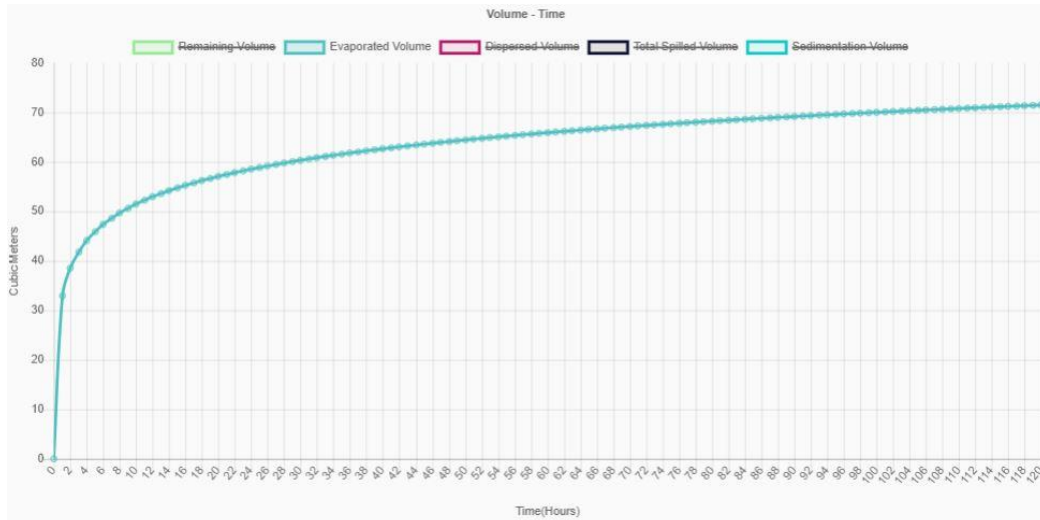
SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
0.244%	5 %	0.3 %

Παρατηρούμε ότι οι τιμές των SpillSolver App και Adios 2 είναι πολύ κοντά μεταξύ τους, ενώ είναι αρκετά μικρότερες σε σχέση με την τιμή του SpillSolver 2.0, το οποίο φαίνεται στο συγκεκριμένο σενάριο να υπερεκτιμά το ποσοστό της διασποράς του πετρελαίου.

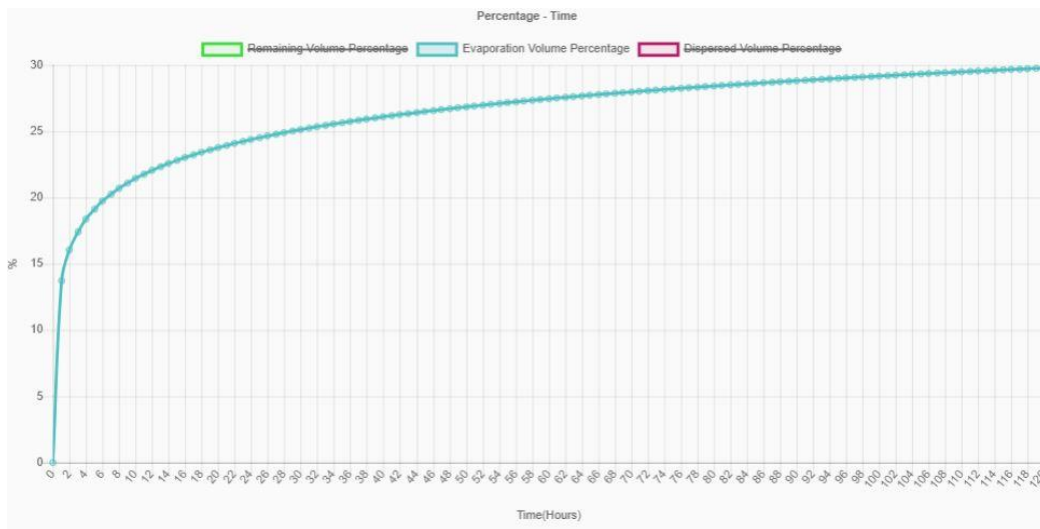
### ➤ Εξάτμιση

Ακολουθούν τα διαγράμματα όγκου εξάτμισης – χρόνου και ποσοστού εξάτμισης – χρόνου, όπως αυτά προκύπτουν από τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0 και το διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης – χρόνου όπως προκύπτει από το ADIOS 2.

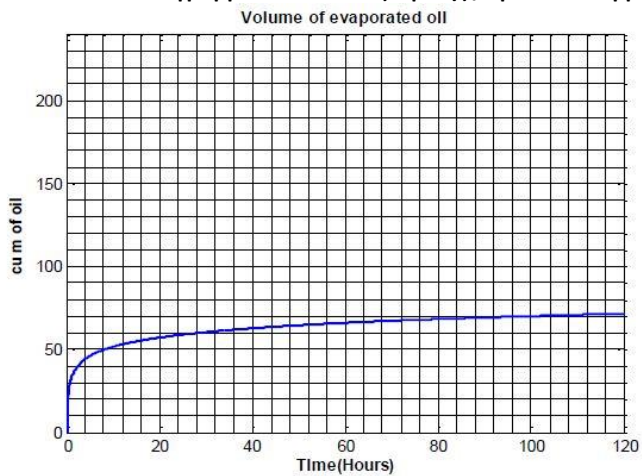




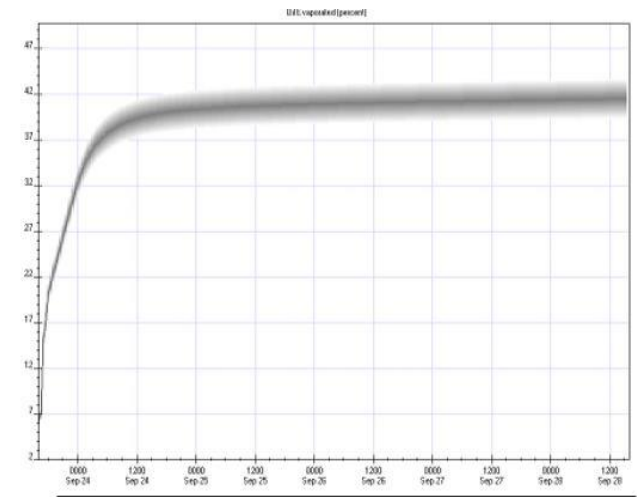
Εικόνα 3.6.10 : Διάγραμμα όγκου εξάτμισης / SpillSolver App



Εικόνα 3.6.11 : Διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης / SpillSolver App



Εικόνα 3.6.12 : Διάγραμμα όγκου εξάτμισης / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.6.13 : Διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης / ADIOS 2

Το SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App εξάγουν αποτελέσματα τόσο για τον όγκο όσο και για το ποσοστό εξάτμισης, ενώ το ADIOS 2 μόνο για το ποσοστό εξάτμισης. Οι αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν είναι:

Πίνακας 3.6.2 : Ποσοστό εξάτμισης

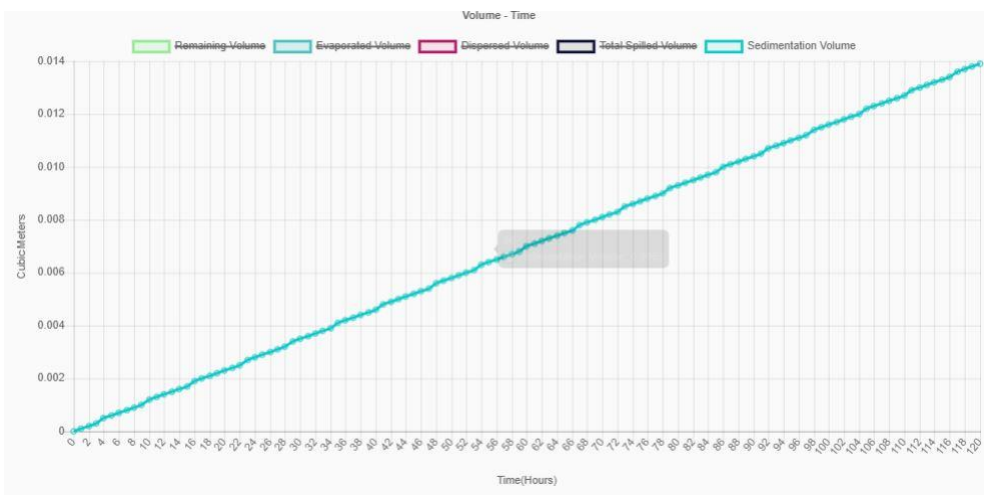
SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
29.78%	29.78%	42%

Παρατηρούμε ότι και τα τρία προγράμματα παράγουν διαγράμματα ίδιας μορφής, δείχνοντας ότι τις πρώτες 24 ώρες ο ρυθμός εξάτμισης είναι μεγαλύτερος.

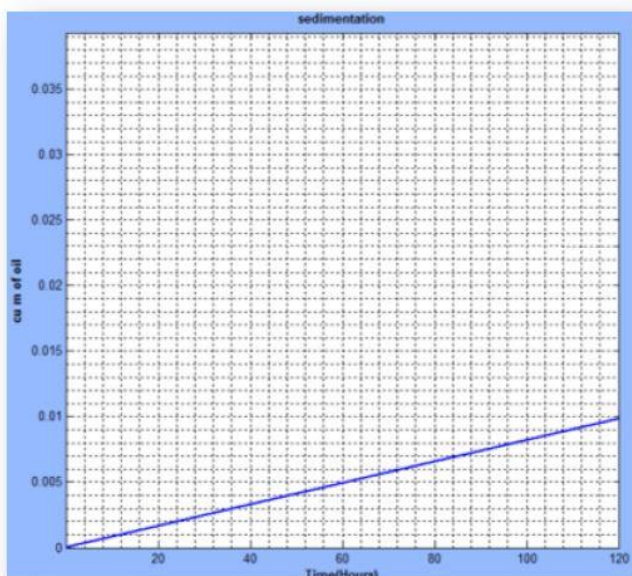
Οι τιμές του ποσοστού εξάτμισης που προκύπτουν από τα SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App είναι ίσες, ενώ η αντίστοιχη τιμή που προκύπτει από το ADIOS 2 είναι μεγαλύτερη.

### ➤ Ιζηματοποίηση

Ακολουθούν τα διαγράμματα του όγκου ιζηματοποίησης όπως προκύπτουν από τα SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App.



Εικόνα 3.6.14 : Διάγραμμα όγκου ιζηματοποίησης / SpillSolver App



Εικόνα 3.6.15 : Διάγραμμα όγκου ιζηματοποίησης / SpillSolver 2.0

Παρατηρούμε ότι τα δύο διαγράμματα έχουν παρόμοια μορφή.

Ο όγκος ιζηματοποίησης στο τέλος της πέμπτης μέρας μελέτης όπως προέκυψαν από τα δύο προγράμματα είναι:

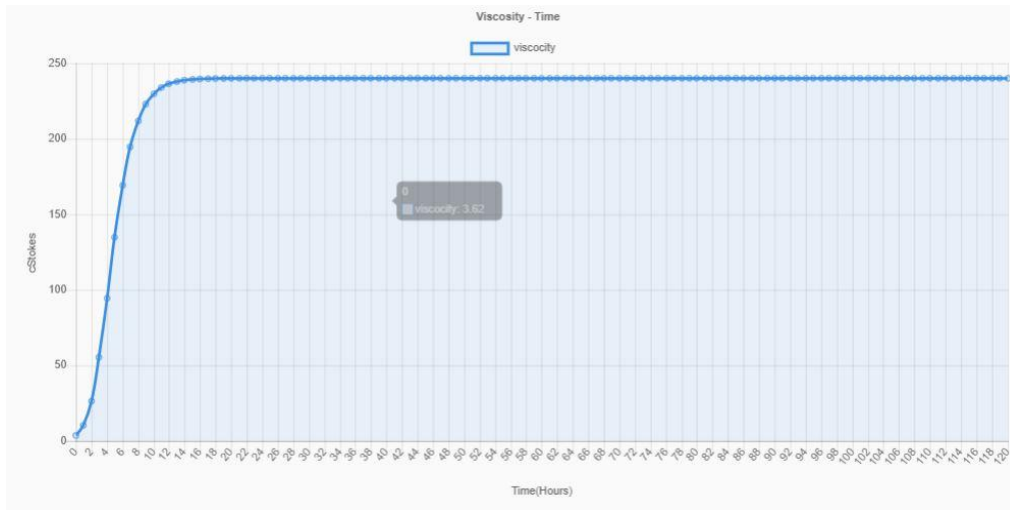
Πίνακας 3.6.3 : Όγκος ιζηματοποίησης

SpillSolver App	SpillSolver 2.0
0.0139 m <sup>3</sup>	0.01 m <sup>3</sup>

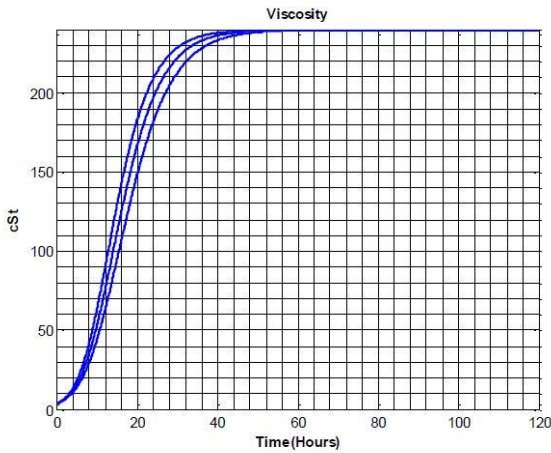
### ➤ Γαλακτωματοποίηση

Η μεταβολή της διαρροής δεν επηρέασε το ποσοστό γαλακτωματοποίησης σε κανένα από τα τρία προγράμματα. Η αβεβαιότητα του μοντέλου παραμένει στο 10%.

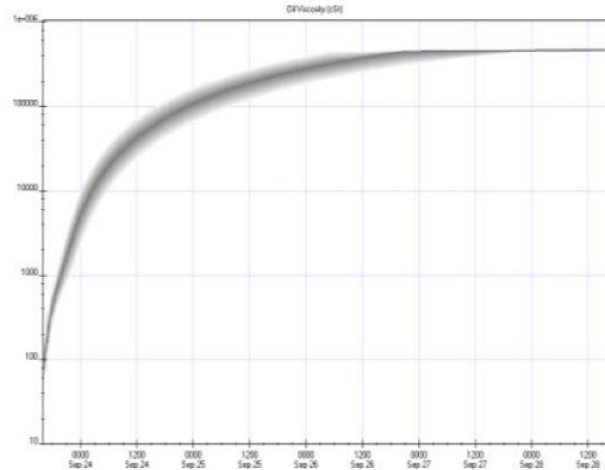
➤ **Ιξώδες Πετρελαίου**



**Εικόνα 3.6.16 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου – χρόνος / SpillSolver App**



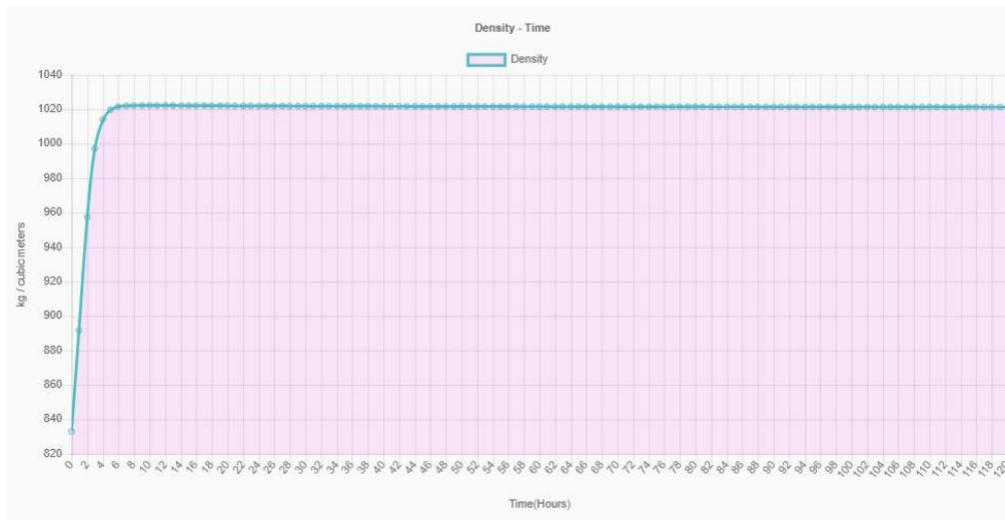
**Εικόνα 3.6.17 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / SpillSolver 2.0**



**Εικόνα 3.6.18 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / ADIOS 2**

Παρατηρούμε ότι και οι τρεις καμπύλες είναι της ίδιας μορφής και η τιμή του ιξώδους σταθεροποιείται περίπου μετά από τον ίδιο αριθμό ωρών.

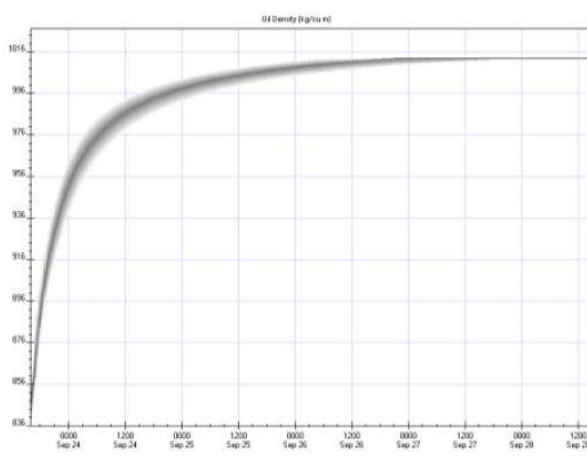
## ➤ Πυκνότητα Πετρελαίου



Εικόνα 3.6.19 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / SpillSolver App



Εικόνα 3.6.20 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / SpillSolver 2.0

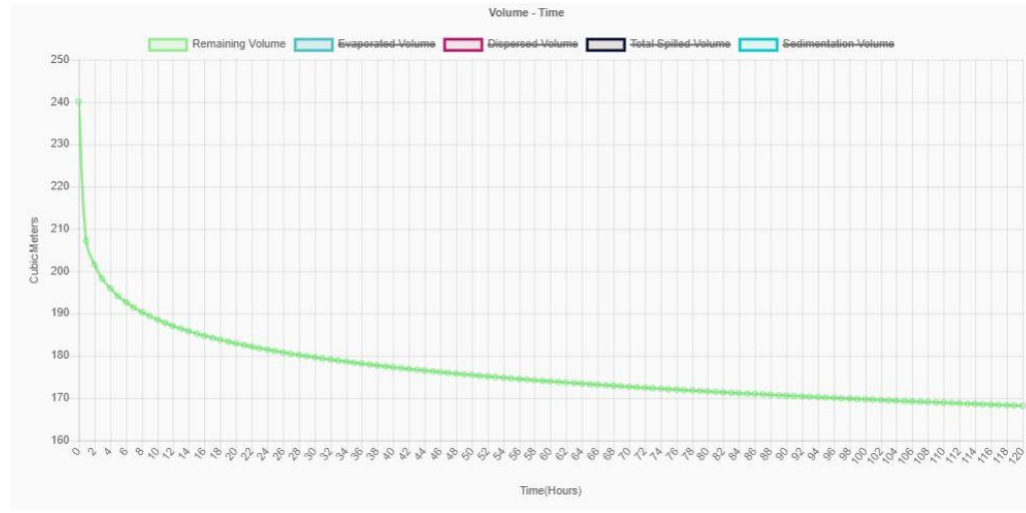


Εικόνα 3.6.21 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / ADIOS 2

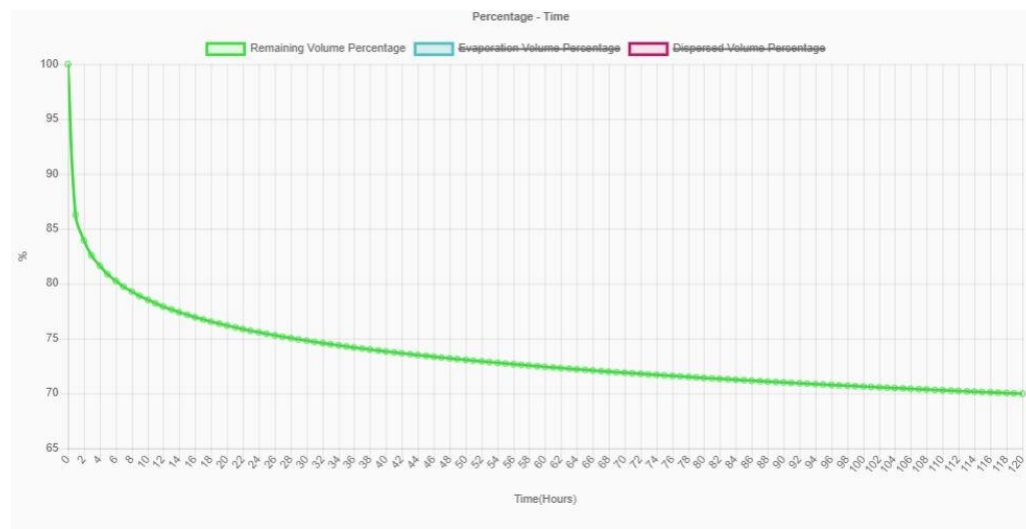
Παρατηρούμε ότι και στα τρία διαγράμματα η τιμή της πυκνότητας μεταβάλλεται με τον ίδιο περίπου ρυθμό και ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά.

### ➤ **Εναπομένον Όγκος Πετρελαίου**

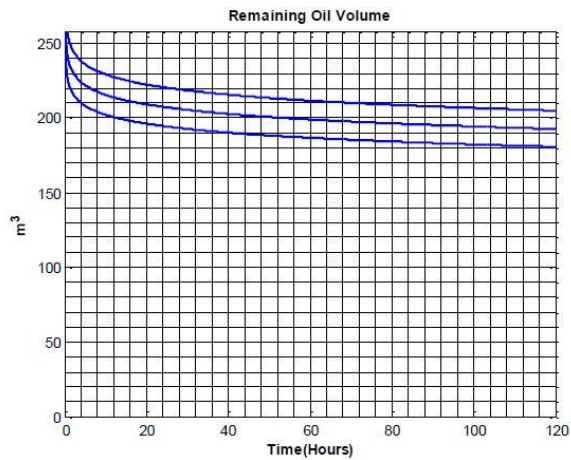
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα του όγκου του πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα συναρτήσει του χρόνου που προκύπτουν από τα SpillSolver App, SpillSolver 2.0 καθώς και τα διαγράμματα του αντίστοιχου ποσοστού που προκύπτουν από τα SpillSolver App, ADIOS 2.



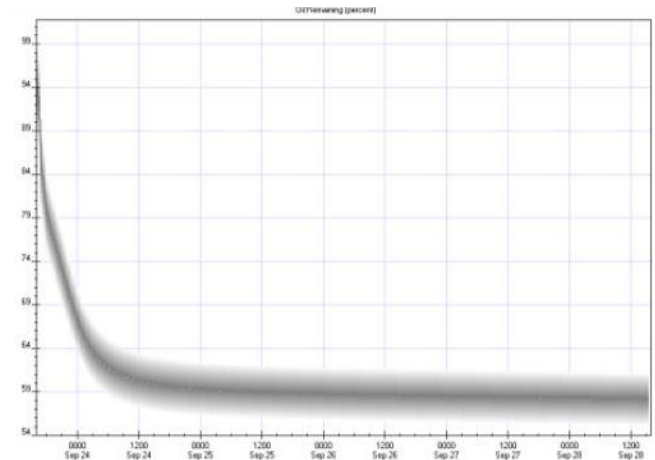
**Εικόνα 3.6.22 : Διάγραμμα όγκου πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / SpillSolver App**



**Εικόνα 3.6.23 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα/ SpillSolver App**



Εικόνα 3.6.24 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.6.25 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / ADIOS 2

Παρατηρούμε ότι όλες οι καμπύλες παρουσιάζουν παρόμοια μορφή.

Οι τιμές που προκύπτουν για το τέλος της πέμπτης μέρας μελέτης συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες:

Όγκος πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα [m<sup>3</sup>]:

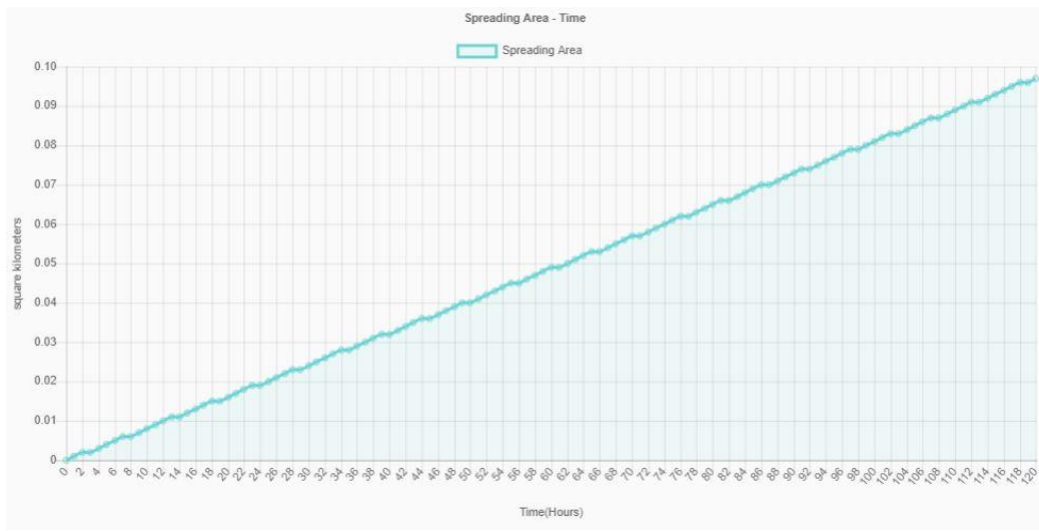
Πίνακας 3.6.4 : Όγκος πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα

SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
168.18	190	150

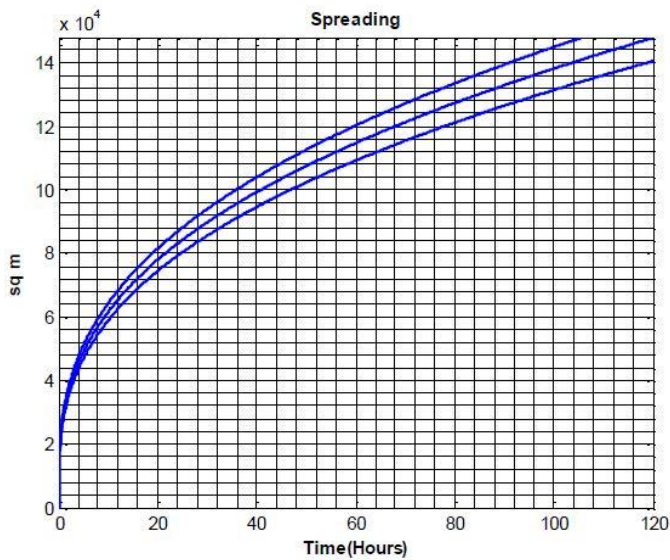
Παρατηρείται ότι το ADIOS 2 δίνει ελαφρώς μικρότερο ποσοστό από το SpillSolver App. Η διαφορά αυτή οφείλεται στη διαφορά του ποσοστού εξάτμισης, το οποίο είναι μεγαλύτερο για το το ADIOS 2.



➤ **Εξάπλωση**



Εικόνα 3.6.26 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver App



Εικόνα 3.6.27 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver 2.0

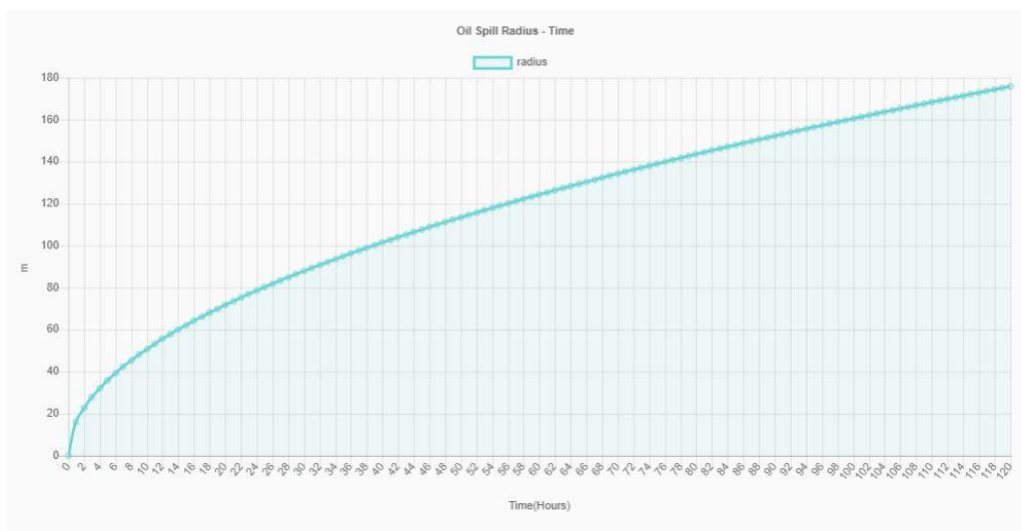
Η καμπύλη που προκύπτει από το SpillSolver App είναι γραμμική ως προς το χρόνο ενώ αυτή που προκύπτει από το SpillSolver 2.0 δείχνει μεγαλύτερο ρυθμό εξάπλωσης για τις πρώτες ώρες μελέτης.

Οι τιμές της εξάπλωσης που προκύπτουν στο τέλος της πέμπτης μέρας μελέτης είναι:

Πίνακας 3.6.5 : Επιφάνεια πετρελαιοκηλίδας

SpillSolver App	SpillSolver 2.0
0.097km <sup>2</sup>	0.148 km <sup>2</sup>

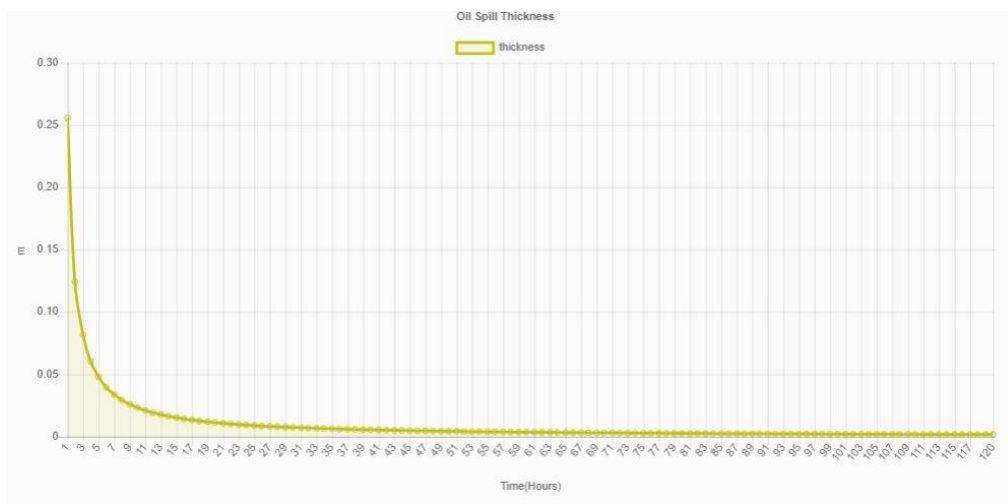
Το SpillSolver App εξάγει και ένα διάγραμμα της ακτίνας της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας θεωρώντας την ως κυκλική



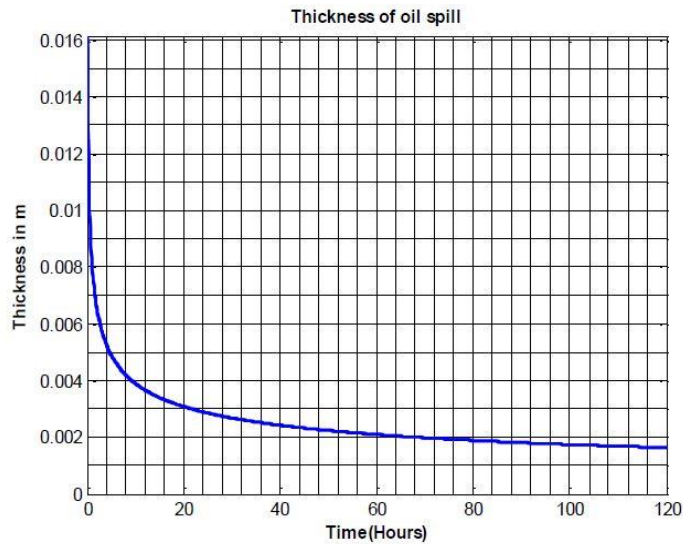
Εικόνα 3.6.28 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver App

### ➤ Πάχος πετρελαιοκηλίδας

Παρουσιάζονται τα διαγράμματα του πάχους της πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει του χρόνου όπως προκύπτουν από τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0.



Εικόνα 3.6.29 : Διάγραμμα πάχους επιφάνειας πετρελαίου – χρόνου / SpillSolver App



Εικόνα 3.6.30 : Διάγραμμα πάχους επιφάνειας πετρελαίου / SpillSolver 2.0

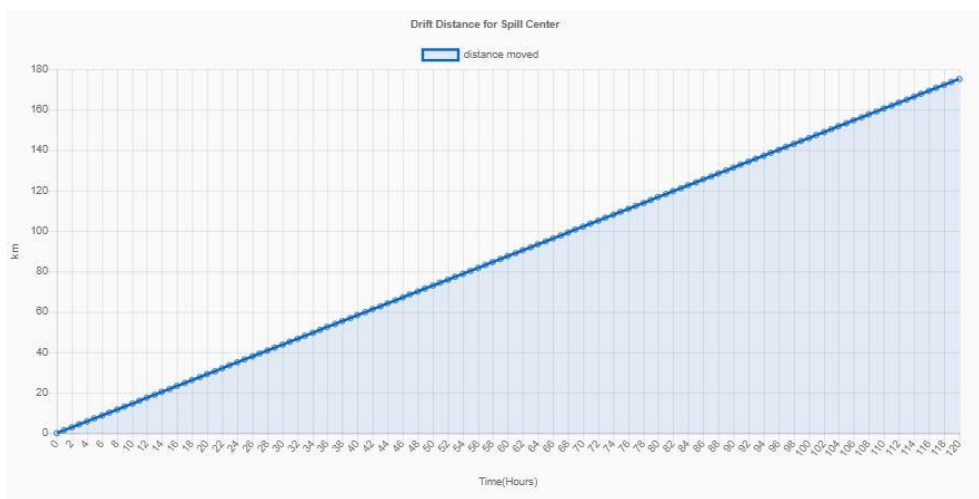
Παρατηρούμε ότι τόσο οι τιμές του πάχους της πετρελαιοκηλίδας όσο και η μορφή των καμπυλών είναι ίδια και στα δύο προγράμματα για το σενάριο της στιγμιαίας διαρροής κάτι που δεν ίσχυε για την συνεχή διαρροή.

Το πάχος της πετρελαιοκηλίδας μετά από πέντε μέρες μελέτης είναι:

Πίνακας 3.6.6 : Πάχος πετρελαιοκηλίδας

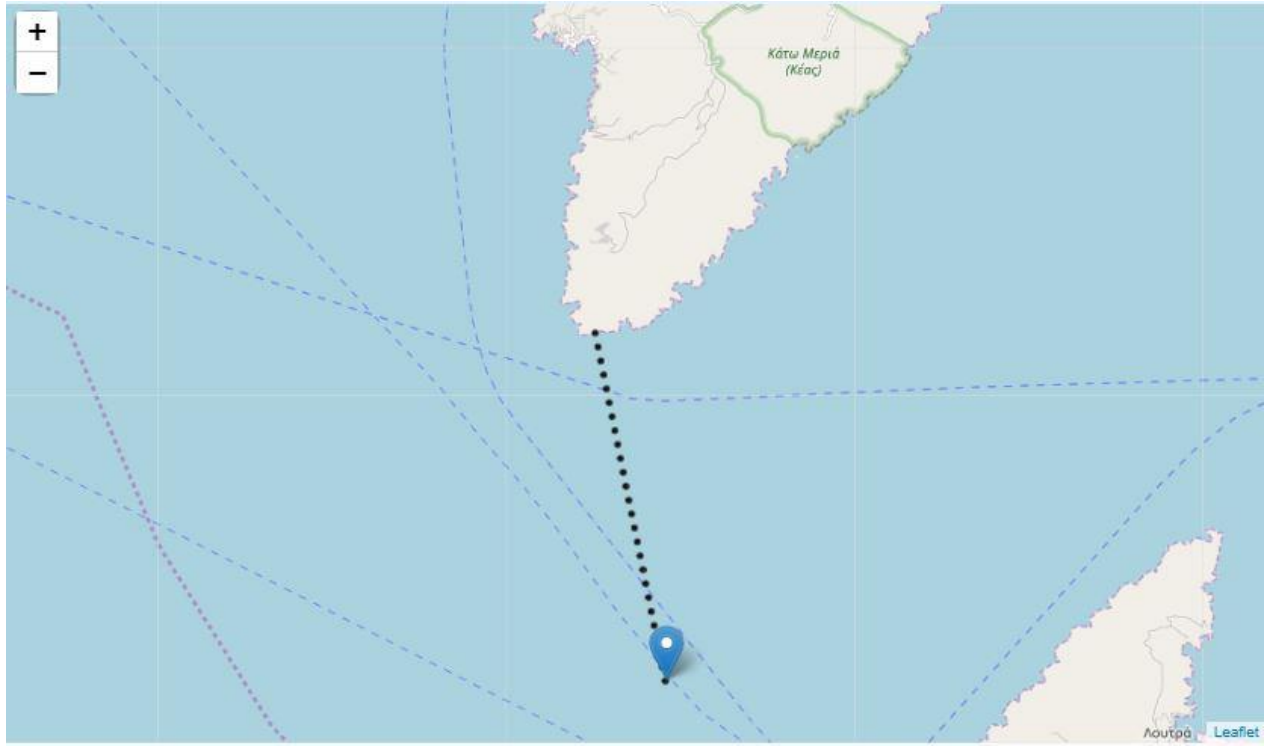
SpillSolver App	SpillSolver 2.0
0.0011 m	0.0011 m

➤ **Μέγιστη Μετατόπιση της πετρελαιοκηλίδας**

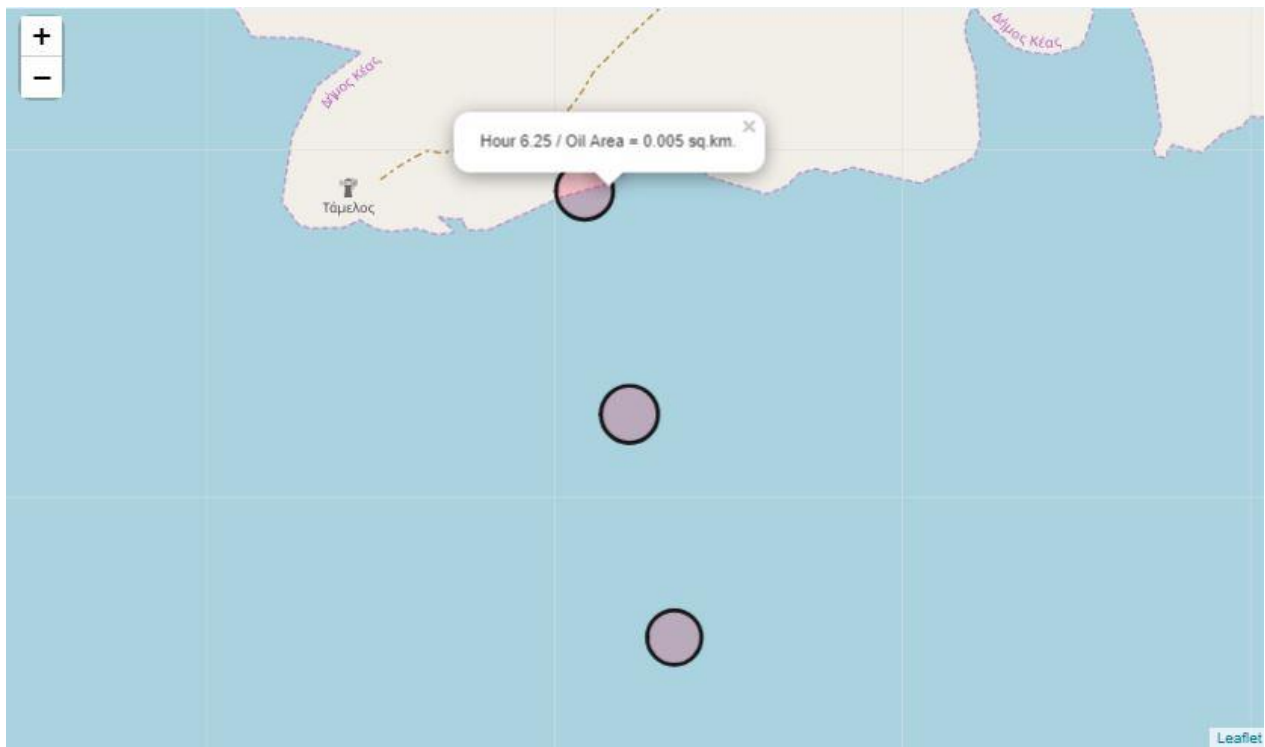


Εικόνα 3.6.31 : Διάγραμμα μετατόπισης επιφάνειας πετρελαίου / SpillSolver App

➤ Απεικόνιση της πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη



Εικόνα 3.6.32 : Απεικόνιση εξάπλωσης-μετατόπισης πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη / SpillSolver App



Εικόνα 3.6.33 : Απεικόνιση εξάπλωσης-μετατόπισης πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη / SpillSolver App

### 3.7 Σενάριο 6°

Οι παράμετροι που εφαρμόστηκαν είναι:

#### User Input Data :

##### Oil

Type : Sarir

Density : 833.0 kg/cu m

Viscosity : 3.62 cStokes

##### Wind

Speed : 51.0 kn = 10 beaufort = 26.2 m/s = 94.5 km/h

Direction : SouthWest

##### Water

Temperature : 12 celcius

Density : 1025 kg / cu m

Salinity : 3.5 %

Sediment Load : 5 mg / l

Current Speed : 1.0 knots

Current Direction : North

##### Release

Released Volume/Mass : 200 ton

Release Duration : 0 hours

Spill Coordinates : 24.297956 lat, 37.452444 lon

Εικόνα 3.7.1 – Παράμετροι σεναρίου 6

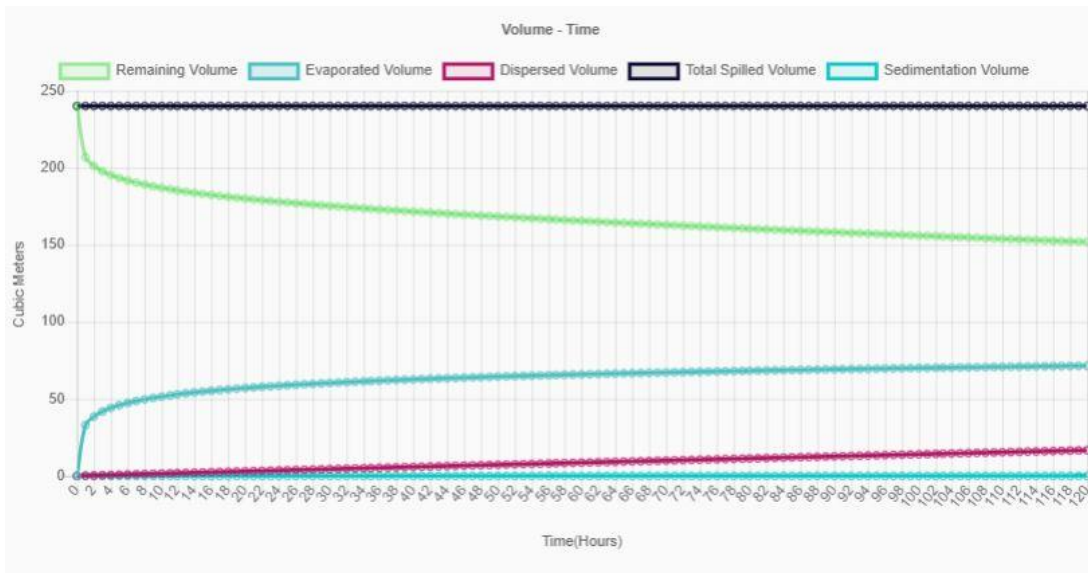
Ακολουθούν συνοπτικά τα αριθμητικά αποτελέσματα της εφαρμογής

	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5
Spilled Volume [cu.m]	240.096	240.096	240.096	240.096	240.096
Remaining Volume [cu.m]	177.949	168.991	162.432	156.876	151.879
Remaining Percentage	73.632	69.326	65.984	63.036	60.306
Evaporated Volume [cu.m]	58.548	64.128	67.392	69.708	71.505
Evaporated Percentage	24.385	26.709	28.069	29.033	29.782
Dispersed Volume [cu.m]	3.599	6.977	10.272	13.512	16.712
Dispersed Percentage	1.983	3.965	5.948	7.93	9.913
Sedimentation Volume [cu.m]	0.0028	0.0056	0.0083	0.0111	0.0139
Emulsification Volume [cu.m]	165.57	165.57	165.57	165.57	165.57
Emulsification Percentage	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
Spreading Area [sq.km]	0.027	0.054	0.081	0.108	0.135
Drift Movement Distance [km]	48.225	96.449	144.674	192.898	241.123
Thickness [m]	0.006572	0.003121	0.002	0.001448	0.001122
Density [kg/cu.m]	1021.956	1021.664	1021.493	1021.372	1021.278
Viscosity [cStokes]	240.112	240.112	240.112	240.112	240.112
Shore Stranding Maximum Volume [cu.m]			0		

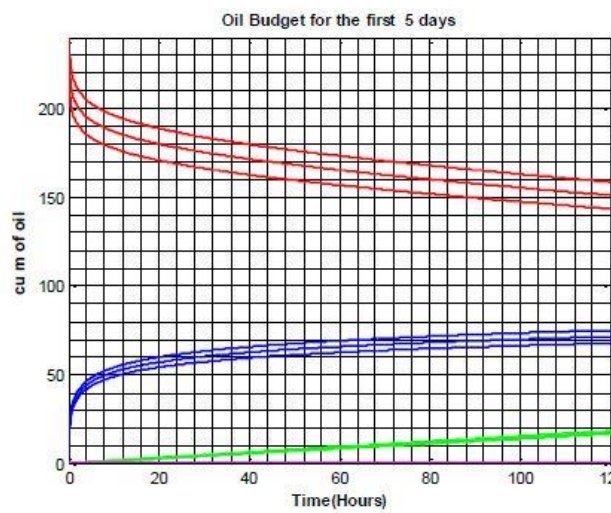
Εικόνα 3.7.2 – συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

➤ **Συνολικό διάγραμμα όγκων:**

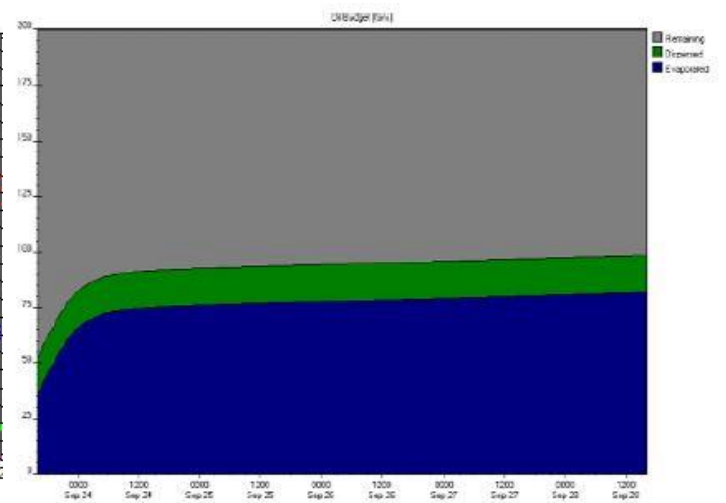
Ακολουθεί το συνολικό διάγραμμα όγκων όπως προκύπτει από το κάθε πρόγραμμα:



Εικόνα 3.7.3 : Διάγραμμα όγκων / SpillSolver App



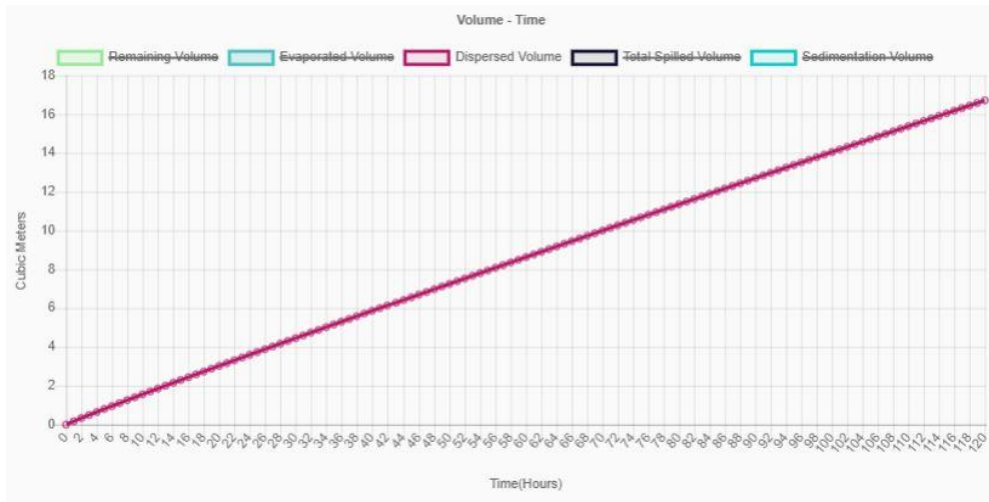
Εικόνα 3.7.5 : Διάγραμμα όγκων / SpillSolver 2.0



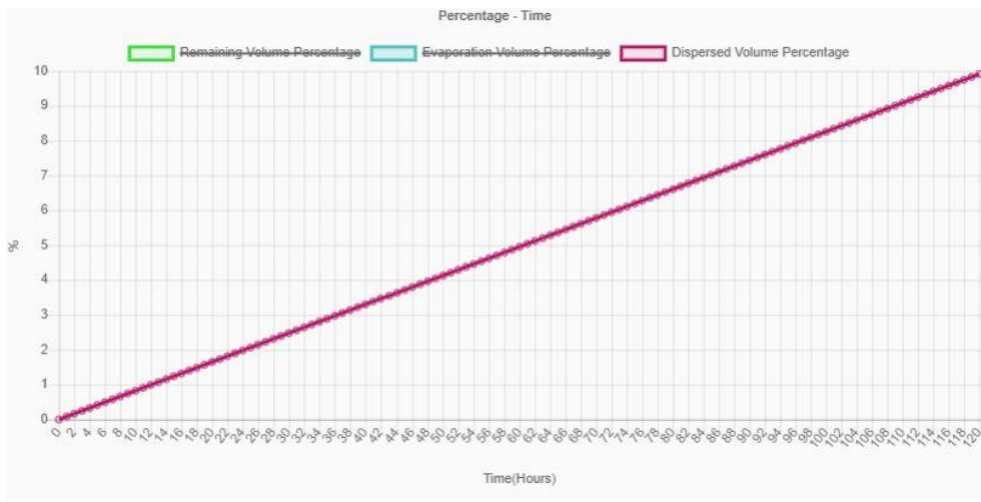
Εικόνα 3.7.4 : Διάγραμμα όγκων / ADIOS 2



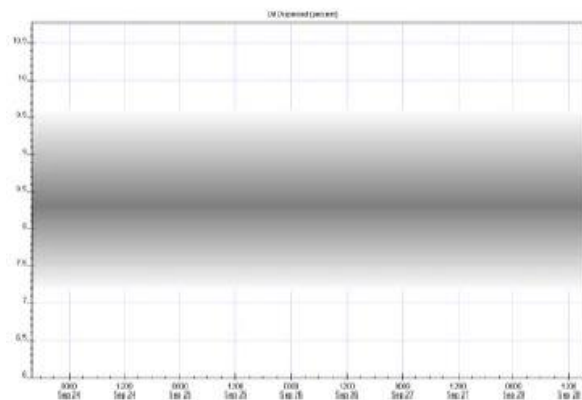
➤ Διασπορά



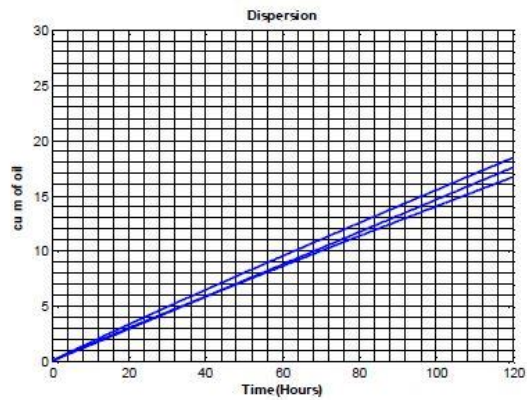
Εικόνα 3.7.6 : Διάγραμμα όγκου διασποράς / SpillSolver App



Εικόνα 3.7.7 : Διάγραμμα ποσοστού διασποράς / SpillSolver App



Εικόνα 3.7.8 : Διάγραμμα ποσοστού διασποράς / ADIOS 2



Εικόνα 3.7.9 : Διάγραμμα όγκου διασποράς / SpillSolver 2.0

Ο όγκος της διασποράς στο τέλος της πέμπτης μέρας φτάνει σύμφωνα με το SpillSolver 2.0 τα  $17 \text{ m}^3$ , ενώ σύμφωνα με το SpillSolver App τα  $16.712 \text{ m}^3$ .



Οι τιμές του ποσοστού διασποράς στο τέλος της πέμπτης μέρας, για το κάθε πρόγραμμα είναι:

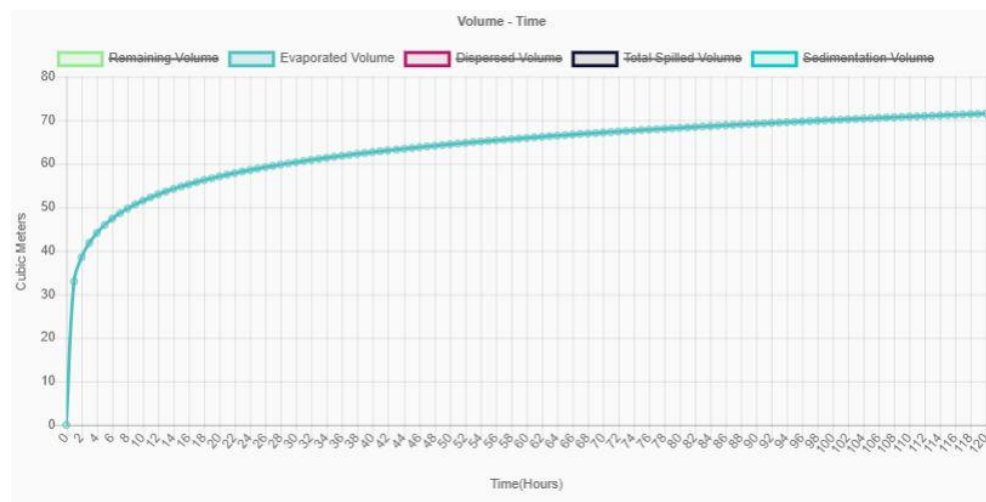
Πίνακας 3.7.1 : Ποσοστά διασποράς

SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
9.913 %	7.5 %	8,5 %

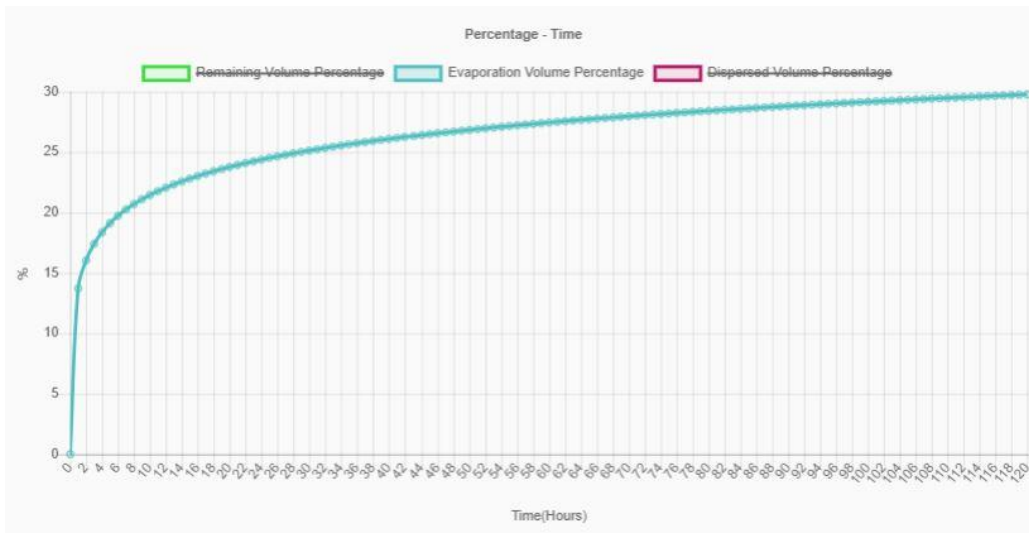
Παρατηρούμε ότι οι τιμές και των τριών προγραμμάτων είναι αρκετά κοντά με το SpillSolver App να δίνει την μεγαλύτερη τιμή και το SpillSolver 2.0 να δίνει τη μικρότερη τιμή.

### ➤ Εξάτμιση

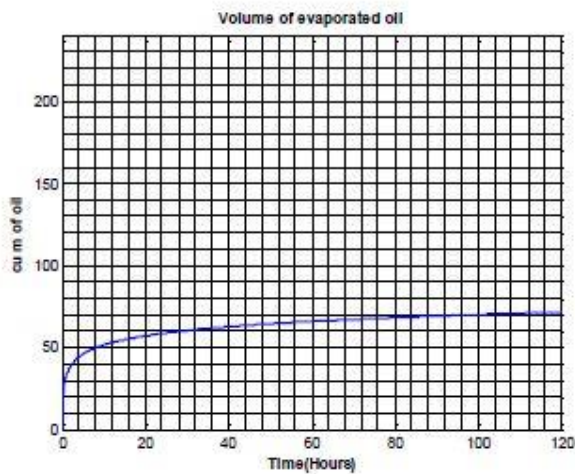
Ακολουθούν τα διαγράμματα όγκου εξάτμισης – χρόνου και ποσοστού εξάτμισης – χρόνου, όπως αυτά προκύπτουν από τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0 και το διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης – χρόνου όπως προκύπτει από το ADIOS 2.



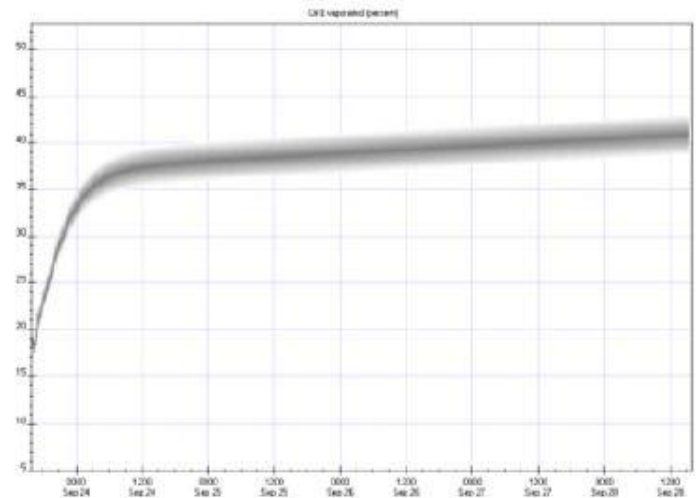
Εικόνα 3.7.10 : Διάγραμμα όγκου εξάτμισης / SpillSolver App



Εικόνα 3.7.11 : Διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης / SpillSolver App



Εικόνα 3.7.12 : Διάγραμμα όγκου εξάτμισης / SpillSolver 2.0



Εικόνα 3.7.13 : Διάγραμμα ποσοστού εξάτμισης / ADIOS 2

Το SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App εξάγουν αποτελέσματα τόσο για τον όγκο όσο και για το ποσοστό εξάτμισης, ενώ το ADIOS 2 μόνο για το ποσοστό εξάτμισης. Οι αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν είναι:

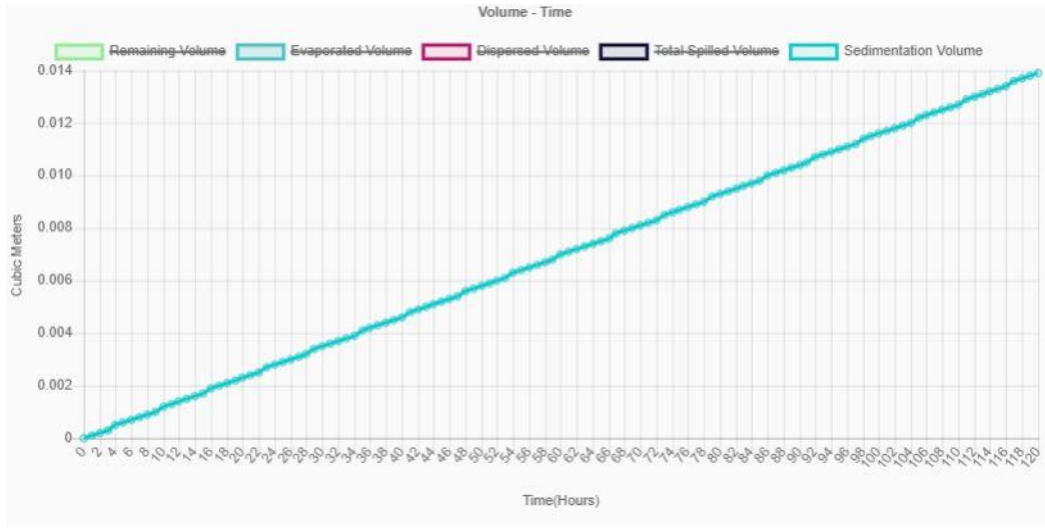
Πίνακας 3.7.2 : Ποσοστά εξάτμισης

SpillSolver App	SpillSolver 2.0	ADIOS 2
29.78%	29.78%	41%

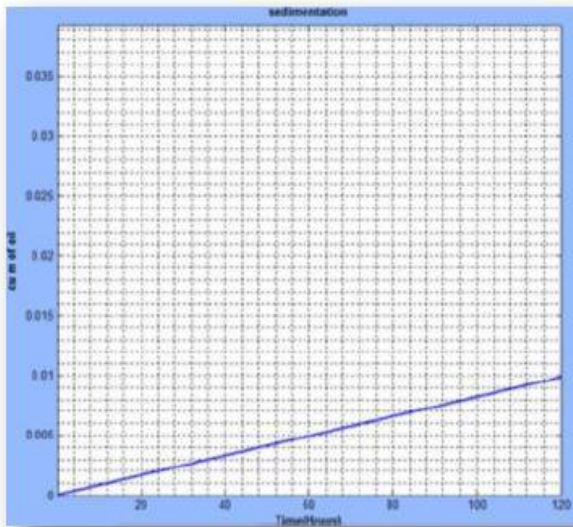
Παρατηρούμε ότι και τα τρία προγράμματα παράγουν διαγράμματα ίδιας μορφής, δείχνοντας ότι τις πρώτες 24 ώρες ο ρυθμός εξάτμισης είναι μεγαλύτερος.

Οι τιμές του ποσοστού εξάτμισης που προκύπτουν από τα SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App είναι ίσες, ενώ η αντίστοιχη τιμή που προκύπτει από το ADIOS 2 είναι μεγαλύτερη.

## ➤ Ιζηματοποίηση



Εικόνα 3.7.14 : Διάγραμμα όγκου ιζηματοποίησης / SpillSolver App



Εικόνα 3.7.15 : Διάγραμμα όγκου ιζηματοποίησης / SpillSolver 2.0

Παρατηρούμε ότι τα δύο διαγράμματα έχουν παρόμοια μορφή.

Ο όγκος ιζηματοποίησης στο τέλος της πέμπτης μέρας μελέτης όπως προέκυψαν από τα δύο προγράμματα είναι:

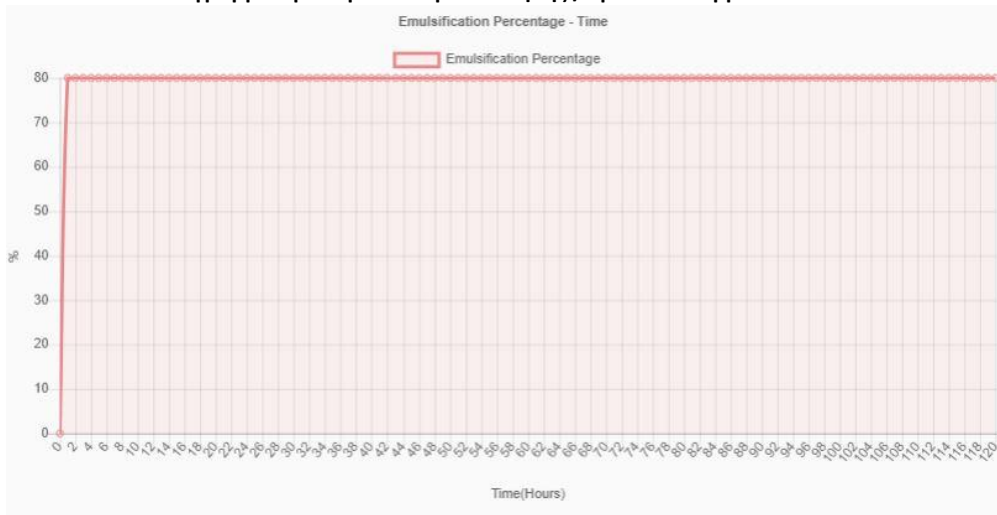
Πίνακας 3.7.3 : Όγκοι ιζηματοποίησης

SpillSolver App	SpillSolver 2.0
0.0139 m <sup>3</sup>	0.01 m <sup>3</sup>

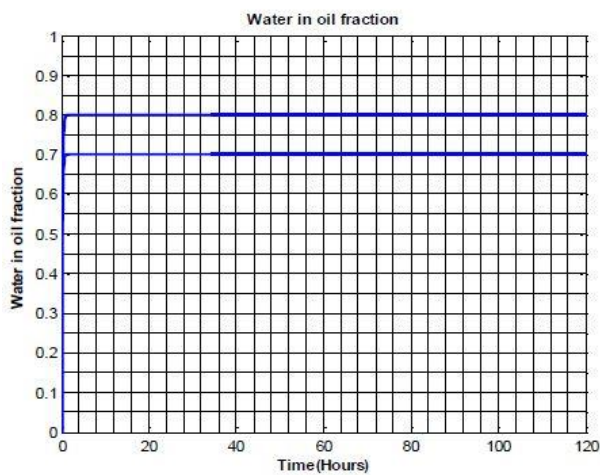
➤ Γαλακτωματοποίηση



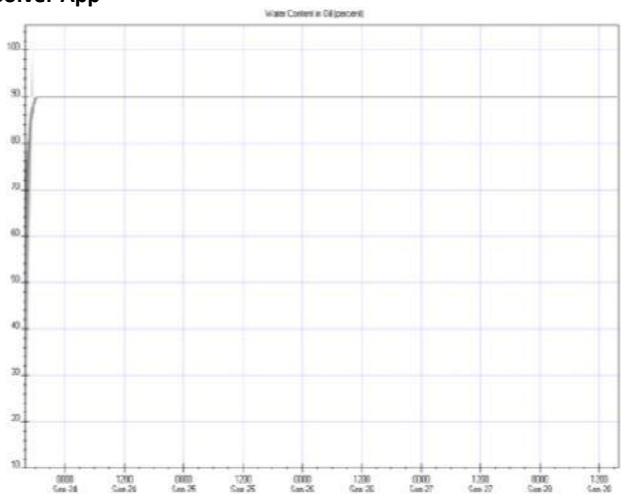
Εικόνα 3.7.16 : Διάγραμμα όγκου γαλακτωματοποίησης / SpillSolver App



Εικόνα 3.7.17 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / SpillSolver App

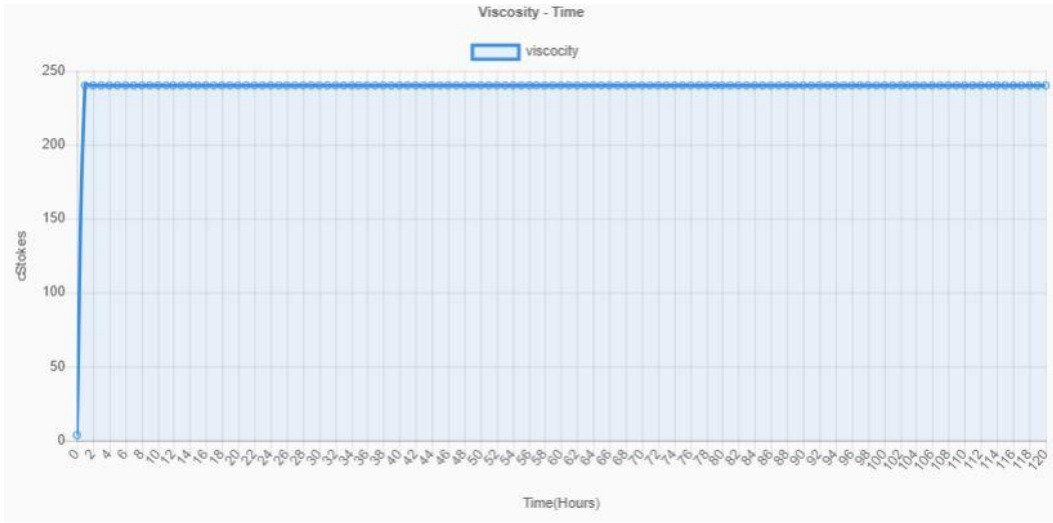


Εικόνα 3.7.18 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / SpillSolver 2.0

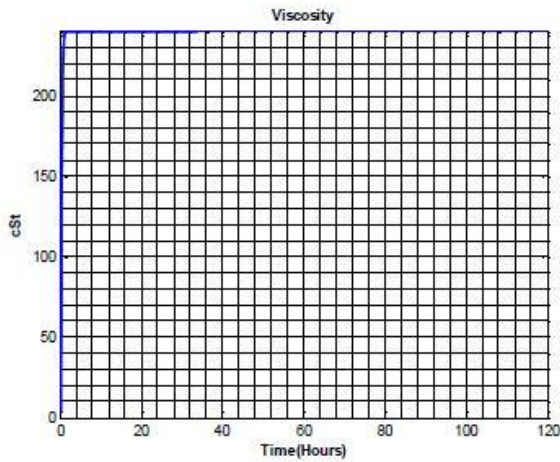


Εικόνα 3.7.19 : Διάγραμμα ποσοστού γαλακτωματοποίησης / ADIOS 2

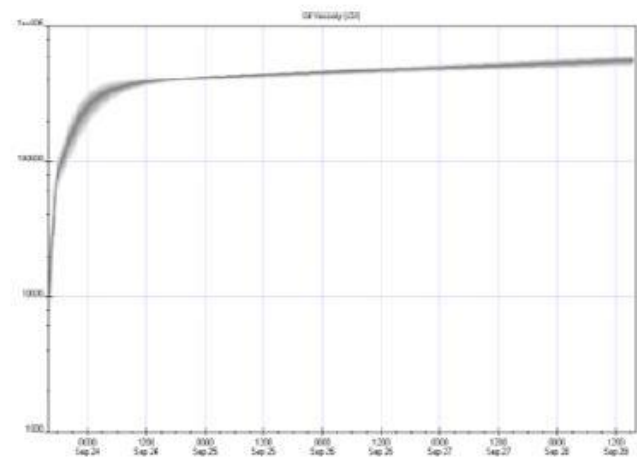
➤ **Ιξώδες Πετρελαίου**



Εικόνα 3.7.20 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου – χρόνος / SpillSolver App



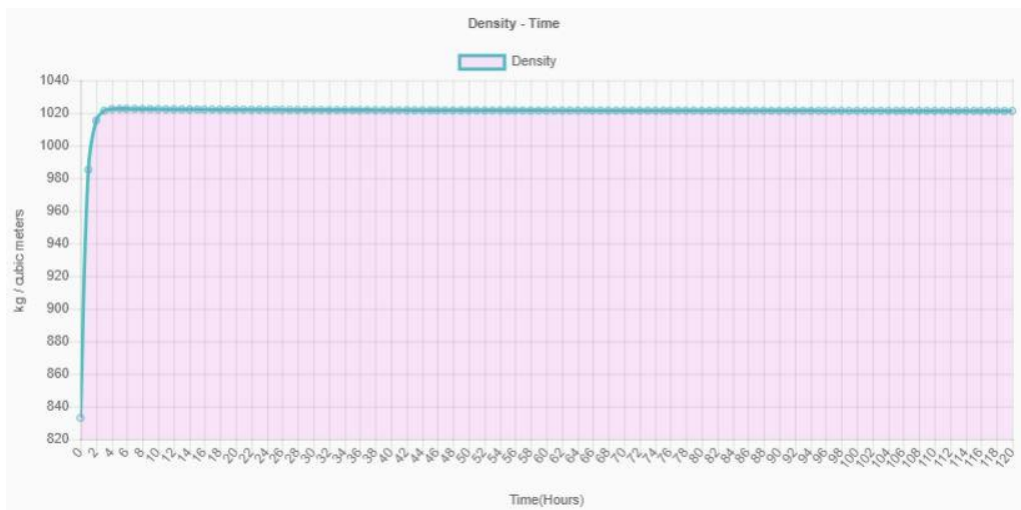
Εικόνα 3.7.21 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / SpillSolver 2.0



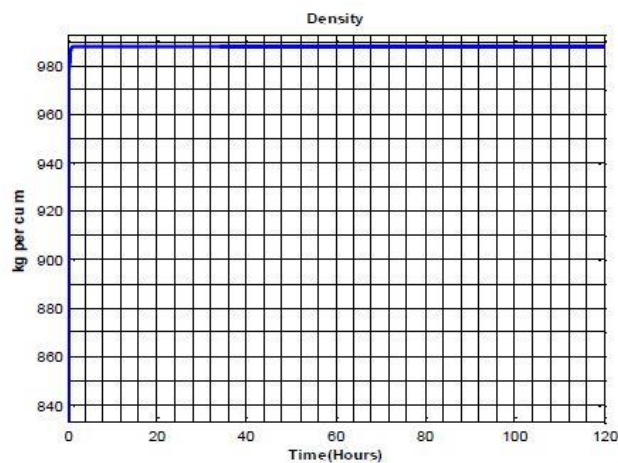
Εικόνα 3.7.22 : Διάγραμμα ιξώδους πετρελαίου / ADIOS 2

Παρατηρούμε ότι και οι τρεις καμπύλες είναι της ίδιας μορφής και η τιμή του ιξώδους σταθεροποιείται περίπου μετά από τον ίδιο αριθμό ωρών.

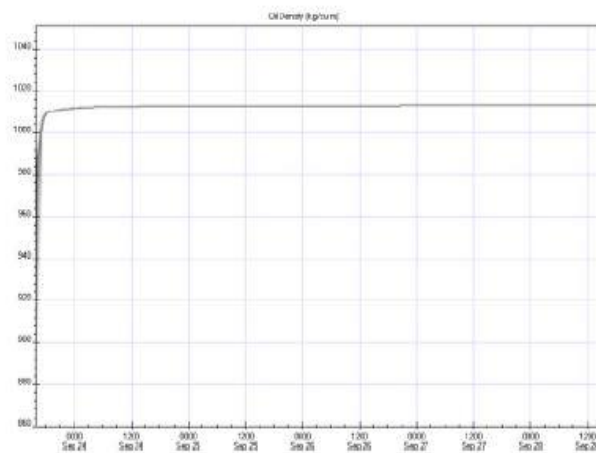
➤ Πυκνότητα Πετρελαίου



Εικόνα 3.7.23 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / SpillSolver App



Εικόνα 3.7.24 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / SpillSolver 2.0

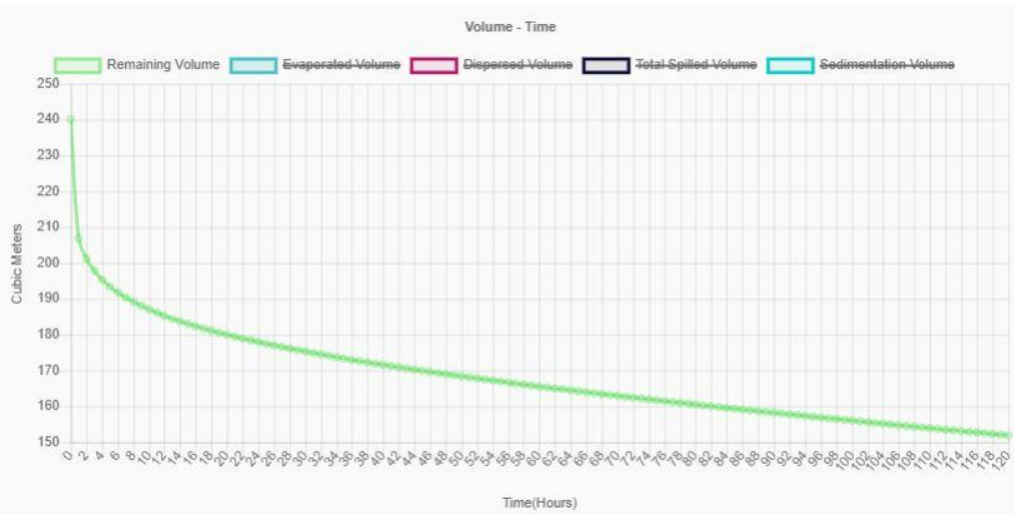


Εικόνα 3.7.25 : Διάγραμμα πυκνότητας πετρελαίου / ADIOS 2

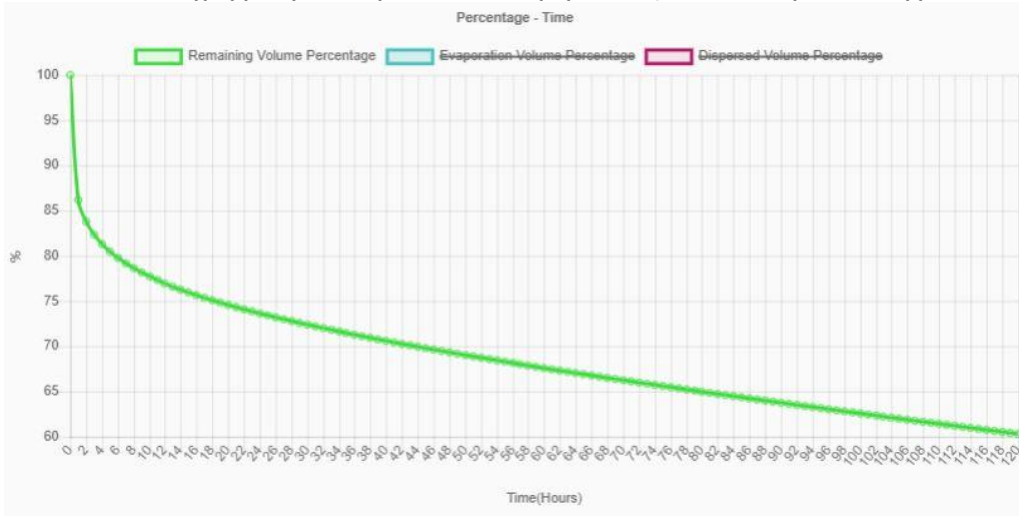
Παρατηρούμε ότι και στα τρία διαγράμματα η τιμή της πυκνότητας μεταβάλλεται με τον ίδιο περίπου ρυθμό και ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά.



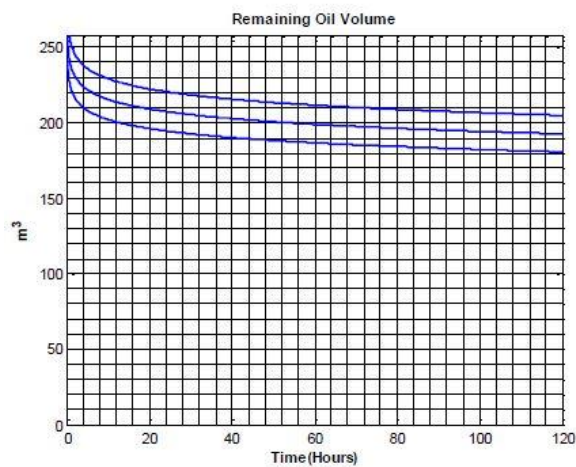
➤ **Εναπομένων Όγκος Πετρελαίου**



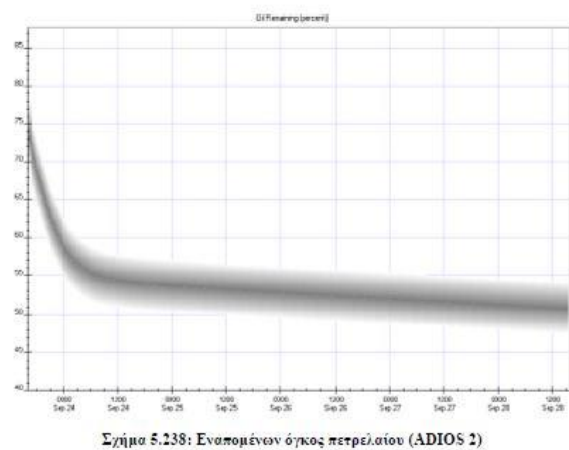
Εικόνα 3.7.26 : Διάγραμμα όγκου πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / SpillSolver App



Εικόνα 3.7.27 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα/ SpillSolver App



Εικόνα 3.7.28 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / SpillSolver 2.0

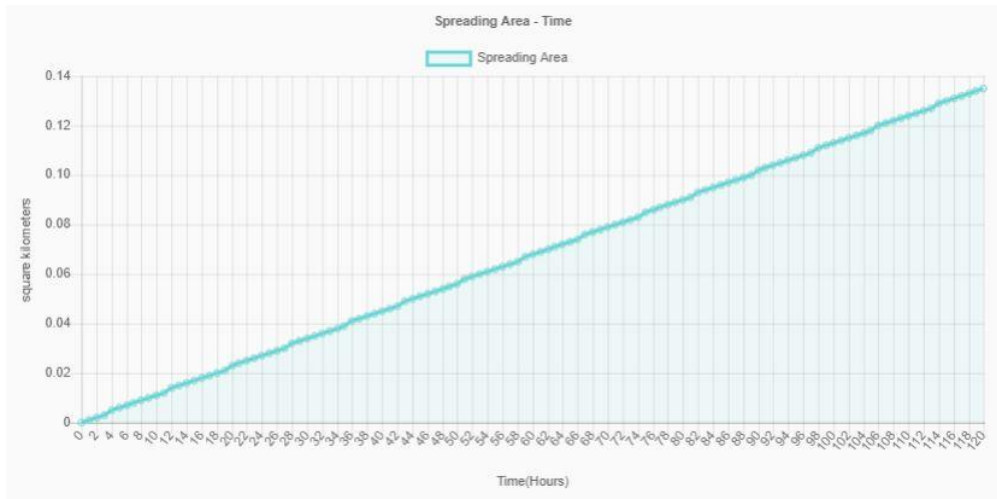


Εικόνα 3.7.29 : Διάγραμμα ποσοστού πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα / ADIOS 2

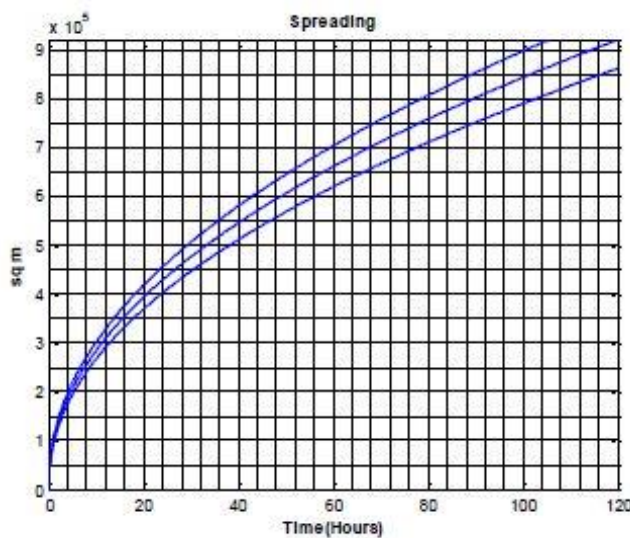


## ➤ Εξάπλωση

Παρουσιάζονται τα διαγράμματα της εξάπλωσης της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει του χρόνου, όπως αυτά προκύπτουν από τα SpillSolver App, SpillSolver 2.0.



Εικόνα 3.7.30 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver App



Εικόνα 3.7.31 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver 2.0

Η καμπύλη που προκύπτει από το SpillSolver App είναι γραμμική ως προς το χρόνο ενώ αυτή που προκύπτει από το SpillSolver 2.0 δείχνει μεγαλύτερο ρυθμό εξάπλωσης για τις πρώτες ώρες μελέτης.

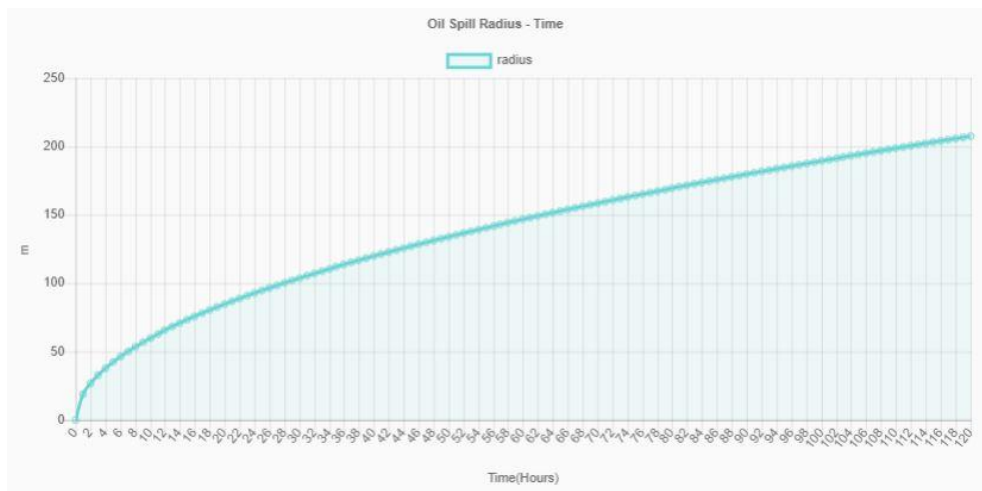
Οι τιμές της εξάπλωσης που προκύπτουν στο τέλος της πέμπτης μέρας μελέτης είναι:

Πίνακας 3.7.4 : Επιφάνεια πετρελαιοκηλίδας

SpillSolver App	SpillSolver 2.0
0.135 km <sup>2</sup>	0.91 km <sup>2</sup>

Παρατηρούμε ότι η επιφάνεια εξάπλωσης που προκύπτει από το SpillSolver App είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του SpillSolver 2.0.

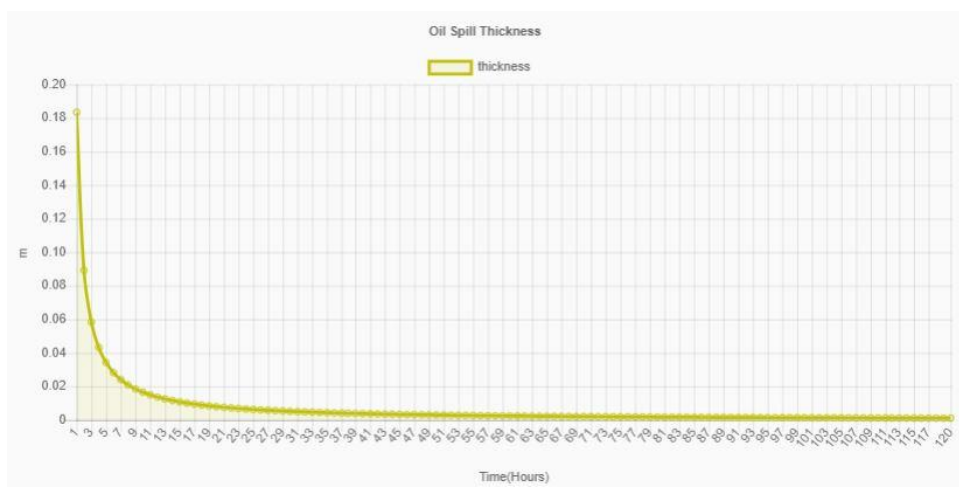
Το SpillSolver App εξάγει και ένα διάγραμμα της ακτίνας της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας θεωρώντας την ως κυκλική



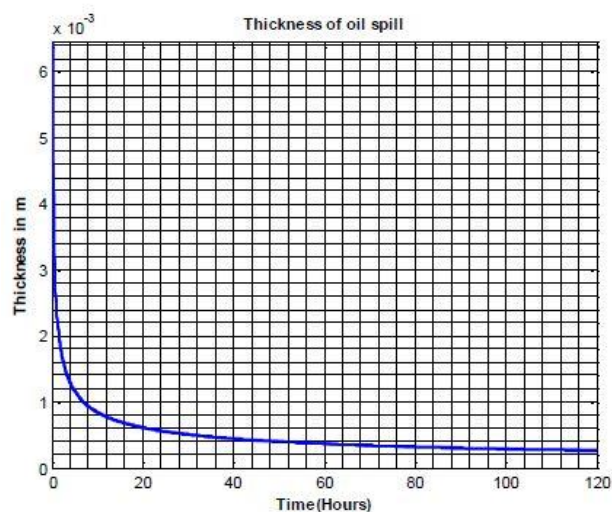
Εικόνα 3.7.32 : Διάγραμμα εξάπλωσης πετρελαίου / SpillSolver App

### ➤ Πάχος πετρελαιοκηλίδας

Παρουσιάζονται τα διαγράμματα του πάχους της πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει του χρόνου όπως προκύπτουν από τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0.



Εικόνα 3.7.33 : Διάγραμμα πάχους επιφάνειας πετρελαίου – χρόνου / SpillSolver App



Εικόνα 3.7.34 : Διάγραμμα πάχους επιφάνειας πετρελαίου / SpillSolver 2.0

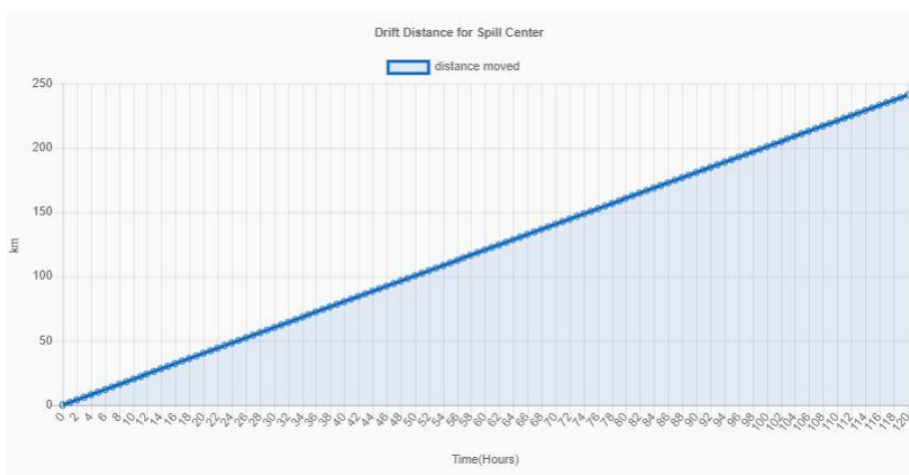
Παρατηρούμε ότι τόσο οι τιμές του πάχους της πετρελαιοκηλίδας όσο και η μορφή των καμπυλών είναι ίδια και στα δύο προγράμματα για το σενάριο της στιγμιαίας διαρροής κάτι που δεν ίσχυε για την συνεχή διαρροή.

Το πάχος της πετρελαιοκηλίδας μετά από πέντε μέρες μελέτης είναι:

Πίνακας 3.7.5 : Πάχη πετρελαιοκηλίδας

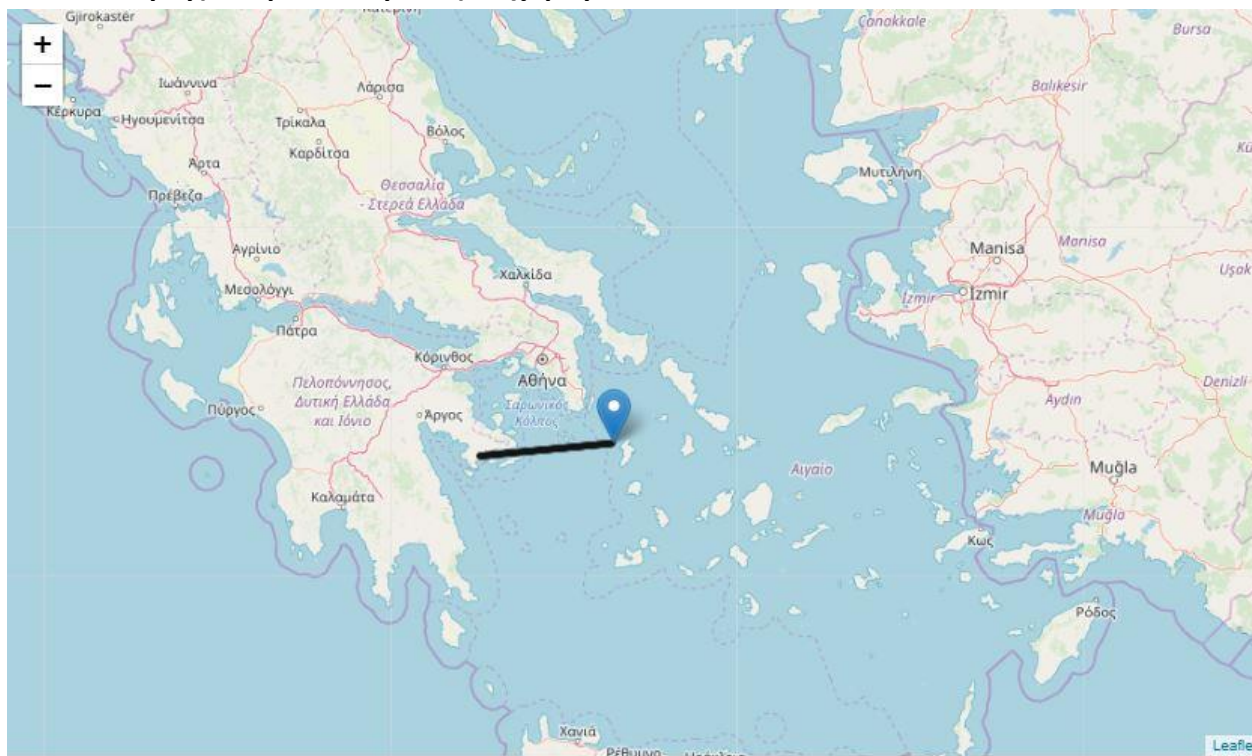
SpillSolver App	SpillSolver 2.0
0.0017 m	0.0017 m

➤ **Μέγιστη Μετατόπιση της πετρελαιοκηλίδας**

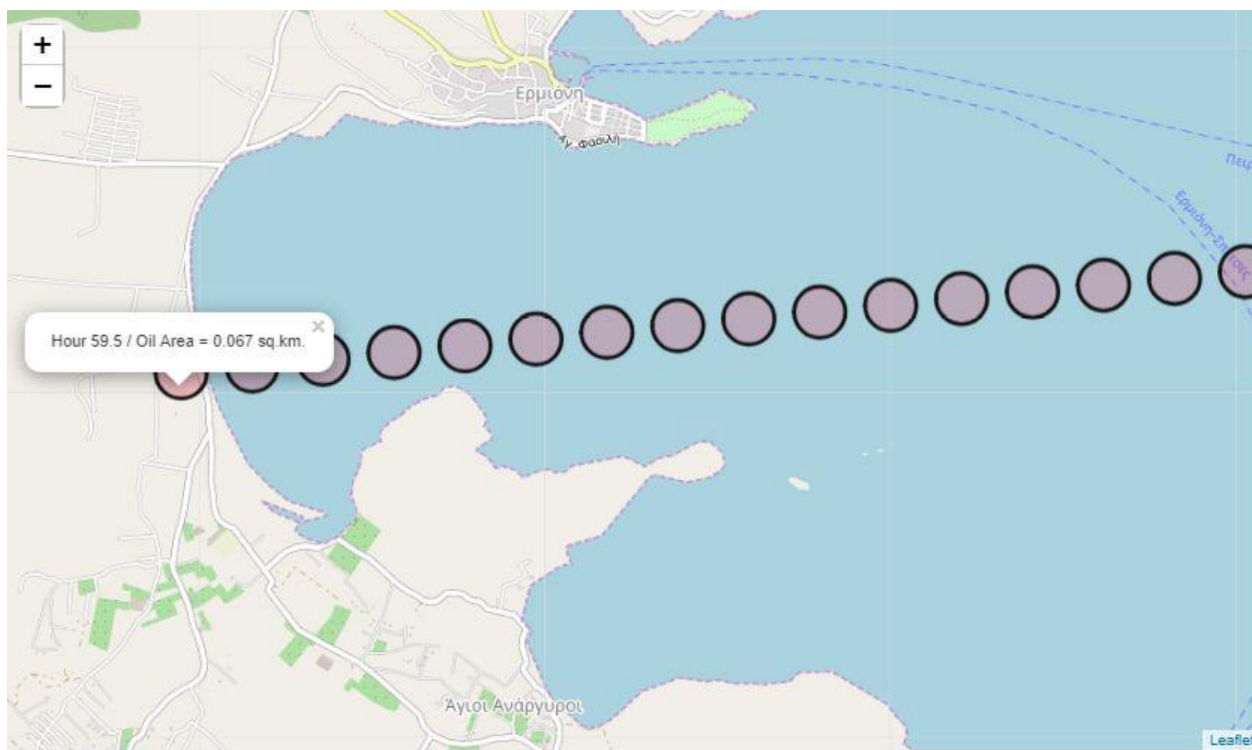


Εικόνα 3.7.35 : Διάγραμμα μετατόπισης επιφάνειας πετρελαίου / SpillSolver App

➤ **Απεικόνιση της πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη**



Εικόνα 3.7.36 : Απεικόνιση εξάπλωσης-μετατόπισης πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη / SpillSolver App



Εικόνα 3.7.37 : Απεικόνιση εξάπλωσης-μετατόπισης πετρελαιοκηλίδας σε χάρτη / SpillSolver App

### 3.8 Σύγκριση και Σχολιασμός Σεναρίων

Στόχος αυτής της ενότητας είναι η σύγκριση και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων των επιμέρους σεναρίων.

Ακολουθεί ο πίνακας 3.8.1 με τις παραμέτρους όλων των σεναρίων προς διευκόλυνση του αναγνώστη.

Πίνακας 3.8.1 : Παράμετροι σεναρίων

Παράμετροι Σεναρίων Μελέτης				
Σενάριο	Διαρροή πετρελαίου	Τύπος πετρελαίου	Ταχύτητα ανέμου	Κατεύθυνση ανέμου
#1	13000 τόνοι για 24 ώρες = 542 τόνοι/ώρα	Sarir	8	N
#2		Sarir	30	S
#3		Sarir	51	SE
#4		Kuwait	8	N
#5	200 τόνοι	Sarir	8	NW
#6		Sarir	51	SW

Στη συνέχεια παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας 3.8.2 με τα αποτελέσματα όπως αυτά προκύπτουν για το κάθε σενάριο, από το κάθε ένα από τα τρία προγράμματα.

Τέλος ακολουθεί ένας σύντομος σχολιασμός των αποτελεσμάτων του κάθε σεναρίου, σε σύγκριση με το σενάριο 1.

Πίνακας 3.8.2 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σεναρίων

Σενάριο	Πρόγραμμα	Ποσοστό εξάτμισης %	Ποσοστό διασποράς %	Όγκος [m <sup>3</sup> ]	Ποσοστό Γαλακτωματοποίησης %	Εξάτμιση [km <sup>2</sup> ]	Πέγος [m]	Πυκνότητα [kg/m <sup>3</sup> ]	Ίσως [cSt]	Ποσοστό Εναπομένου όγκου πετρελαίου %	Εναπομένου όγκου πετρελαίου [m <sup>3</sup> ]	Μετατόπιση [km]
1	SpillSolver 2.0	29.45	3.44	0.01	70-80	1.2	0.011	990	290	-	9500-12000	175
1	Adios 2	36	0.15	-	90	-	-	1013.6	100000	62	-	-
1	SpillSolver App	29.78	0.244	0.0139	80	1.527	0.007	1021.28	240	69.73	10904.97	175
2	SpillSolver 2.0	29.45	6.25	0.01	70-80	1.6	0.009	990	290	-	-	-
2	Adios 2	40	1.08	-	90	-	-	1013.6	120000	-	-	-
2	SpillSolver App	29.78	3.43	0.0139	80	1.6	0.0066	1021.28	240	63.36	10206.75	310
3	SpillSolver 2.0	29.45	7.27	0.01	70-80	2.1	0.007	990	290	-	-	-
3	Adios 2	40	6.5	-	90	-	-	1013.6	150000	55	-	-
3	SpillSolver App	29.78	9.913	0.0139	80	1.7	0.0058	1021.28	240	60	10000	450
4	SpillSolver 2.0	35.4	3.28	0.01	80-90	0.44	0.028	1000	700-2500	65	-	-
4	Adios 2	34	2.4	-	90	-	-	1013.9	6000	64	-	-
4	SpillSolver App	35.79	0.244	0.014	80	1.5	0.0054	1020.527	684	64	-	175
5	SpillSolver 2.0	29.78	5	0.01	70-80	0.148	0.0011	990	250	-	190	175
5	Adios 2	42	0.3	-	90	-	-	1013.6	150000	-	150	-
5	SpillSolver App	29.78	0.244	0.0139	80	0.097	0.0011	1021.28	240	-	168.18	175
6	SpillSolver 2.0	29.78	7.5	0.01	70-80	0.91	0.0017	990	250	-	-	-
6	Adios 2	41	8.5	-	90	-	-	1013.6	150000	-	-	-
6	SpillSolver App	29.78	9.9	0.0139	80	0.135	0.0017	1021.28	240	60	152	240

### 3.8.1 Σενάριο 2

Στο σενάριο αυτό έχουμε αύξηση του ανέμου από τους 8 στους 30 κόμβους ενώ όλες οι άλλες παράμετροι παραμένουν σταθερές.

#### ➤ Διασπορά:

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό διαποράς παρουσιάζει σημαντική αύξηση σε σχέση με το προηγούμενο σενάριο, λόγω της αύξησης της ταχύτητας του αέρα. Να υπογραμμιστεί ότι σε αυτό το σενάριο οι τιμές που προκύπτουν από τα τρία προγράμματα είναι σαφώς διαφορετικές, με το SpillSolver App να δίνει τιμή του ποσοστού διαποράς κοντά στην αντίστοιχη του ADIOS 2, ενώ το αποτέλεσμα που προκύπτει από το SpillSolver 2.0 είναι αρκετά μεγαλύτερο .

#### ➤ Εξάτμιση

Παρατηρούμε ότι τιμές του ποσοστού εξάτμισης που προκύπτουν από τα SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App δεν αυξήθηκαν λόγω της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου ενώ η τιμή που προέκυψε από το ADIOS 2 αυξήθηκε σε σχέση με το πρώτο σενάριο.

#### ➤ Ιζηματοποίηση

Οι τιμές όγκου ιζηματοποίησης στο τέλος της πέμπτης μέρας μελέτης δεν μεταβάλλονται λόγω της αύξησης του ανέμου.

#### ➤ Γαλακτωματοποίηση

Η αύξηση του ποσοστού του γαλακτωματοποίησης να γίνεται πιο ραγδαία τις πρώτες ώρες της μελέτης.

#### ➤ Ιξώδες του πετρελαίου

Οι καμπύλες και των τριών προγραμμάτων μεταβλήθηκαν ελαφρά με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, με τον ρυθμό αύξησης του ιξώδους να γίνεται πιο έντονος τις πρώτες ώρες της μελέτης.

Η τελική τιμή του ιξώδους έμεινε σταθερή στα SpillSolver App, SpillSolver 2.0 ενώ αυξήθηκε στο ADIOS 2.

#### ➤ Πυκνότητα του πετρελαίου

Οι τελικές τιμές της πυκνότητας όπως προκύπτουν μετά από πέντε μέρες μελέτης δεν μεταβλήθηκαν σε κανένα από τα τρία προγράμματα. Μεταβλήθηκε όμως η μορφή των καμπυλών καθώς αυξάνεται ο ρυθμός αύξησης της πυκνότητας τις πρώτες ώρες της μελέτης.



➤ **Όγκος που παραμένει στη θάλασσα**

Ο όγκος του πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου.

➤ **Εξάπλωση**

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου αυξήθηκε και η εξάπλωση της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας.

➤ **Πάχος Πετρελαιοκηλίδας**

Το πάχος της πετρελαιοκηλίδας μειώθηκε με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα

➤ **Μέγιστη μετατόπιση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας**

Παρατηρούμε ότι η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου οδήγησε σε μεγαλύτερη μετακίνηση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας, χωρίς να μεταβληθεί η ταχύτητα του θαλάσσιου ρεύματος.

### 3.8.2 Σενάριο 3

Στο σενάριο αυτό έχουμε περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας του ανέμου από τους 30 στους 51 κόμβους.

➤ **Διασπορά**

Παρατηρούμε ότι το ποσοστό διασποράς παρουσιάζει σημαντική αύξηση σε σχέση με το προϋγούμενο σενάριο, λόγω της αύξησης της ταχύτητας του αέρα.

➤ **Εξάτμιση**

Παρατηρούμε ότι τόσο η μορφή των καμπυλών όσο και οι τιμές που αφορούν τον όγκο και το ποσοστό εξάτμισης παραμένουν αμετάβλητα παρά την αύξηση της ταχύτητας του αέρα.

➤ **Ιζηματοποίηση**

Παρατηρούμε ότι ο όγκος και ο ρυθμός της ιζηματοποίησης δεν μεταβάλλονται με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα.

➤ **Γαλακτωματοποίηση**

Η αύξηση του ποσοστού του γαλακτωματοποίησης να γίνεται ακόμα πιο ραγδαία τις πρώτες ώρες της μελέτης

### ➤ **Ιξώδες του πετρελαίου**

Δεν μεταβάλλεται ο ρυθμός μεταβολής του και οι καμπύλες παραμένουν αμετάβλητες. Η τελική τιμή του ιξώδους έμεινε σταθερή στα SpillSolver App, SpillSolver 2.0 ενώ αυξήθηκε στο ADIOS 2.

### ➤ **Πυκνότητα του πετρελαίου**

Οι τελικές τιμές της πυκνότητας και η μορφή των καυλών δεν μεταβλήθηκαν σε κανένα από τα τρία προγράμματα.

### ➤ **Όγκος που παραμένει στη θάλασσα**

Ο όγκος του πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα μειώνεται ελαφρά με την περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας του ανέμου από 30 σε 51 κόμβους. Ενώ ο ρυθμός μεταβολής δεν αλλάζει σε σχέση με το σενάριο 1.

### ➤ **Εξάπλωση**

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου αυξήθηκε και η εξάπλωση της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας.

### ➤ **Πάχος πετρελαιοκηλίδας**

Το πάχος της πετρελαιοκηλίδας μειώθηκε με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα

### ➤ **Μέγιστη μετατόπιση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας**

Παρατηρούμε ότι η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου οδήγησε σε μεγαλύτερη μετακίνηση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας, χωρίς να μεταβληθεί η ταχύτητα του θαλάσσιου ρεύματος.

## **3.8.3 Σενάριο 4 :**

Σε αυτό το σενάριο έχουμε αλλαγή του τύπου του πετρελαίου από Sarir με πυκνότητα ίση με 0,833 ton/m<sup>3</sup>, στο βαρύτερο Kuwait με πυκνότητα 0,976 ton/m<sup>3</sup>, ενώ όλες οι άλλες παράμετροι διατηρούνται οι ίδιες με το σενάριο 1.

### ➤ **Διασπορά**

Οι τιμές της διασποράς που προκύπτουν από τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0 είναι σχεδόν ίδιες με αυτές του σεναρίου 1 σε αντίθεση με την αντίστοιχη τιμή που προκύπτει από το ADIOS 2 η οποία παρουσιάζεται πολύ μεγαλύτερη.

### ➤ **Εξάτμιση**

Οι τιμές του συνολικού όγκου εξάτμισης που προκύπτουν από τα SpillSolver 2.0 και το Spillsolver App είναι σχεδόν ίδιες με το σενάριο 1 και επειδή για βαρύτερο πετρέλαιο έχουμε μικρότερο συνολικό όγκο πετρελαίου, το ποσοστό εξάτμισης εμφανίζεται μεγαλύτερο σε σχέση με το σενάριο 1. Το ποσοστό εξάτμισης που προκύπτει από το ADIOS 2 μειώθηκε λίγο σε σχέση με το σενάριο 1.

### ➤ **Ιζηματοποίηση**

Οι τιμές όγκου ιζηματοποίησης στο τέλος της πέμπτης μέρας μελέτης δεν μεταβάλλονται σε σχέση με το σενάριο 1.

### ➤ **Γαλακτωματοποίηση**

Και τα τρία διαγράμματα έχουν παρόμοια μορφή η οποία είναι παρόμοια με αυτή του σεναρίου 1. Οι τελικές τιμές του ποσοστού γαλακτωματοποίησης παραμένουν αμετάβλητες σε σχέση με το σενάριο 1.

### ➤ **Ιξώδες του πετρελαίου**

Παρατηρούμε ότι η μορφή των καμπυλών μεταβλήθηκε σημαντικά και η αβεβαιότητα του μοντέλου μεγαλώνει για βαρύτερο τύπο πετρελαίου. Η τελική τιμή του ιξώδους στα SpillSolver App και SpillSolver 2.0 αυξήθηκε σημαντικά σε σχέση με το σενάριο 1.

### ➤ **Πυκνότητα του πετρελαίου**

Παρόλο που η αρχική πυκνότητα είναι μεγαλύτερη, η τελική τιμή της δεν έχει σημαντική διαφορά με την αντίστοιχη του ελαφρύτερου πετρελαίου του σεναρίου 1.

### ➤ **Όγκος που παραμένει στη θάλασσα**

Παρατηρούμε ότι ο όγκος πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα δεν εμφανίζει μεγάλη διαφοροποίηση σε σχέση με το σενάριο 1

### ➤ **Εξάπλωση**

Παρατηρούμε ότι η τελική τιμή της επιφάνειας του SpillSolver 2.0 μειώθηκε σημαντικά σε σχέση με το σενάριο 1, ενώ η αντίστοιχη τιμή του SpillSolver App παρέμεινε σχεδόν η ίδια σε σχέση με το σενάριο 1.

### ➤ **Πάχος πετρελαιοκηλίδας**

Το πάχος της πετρελαιοκηλίδας μειώθηκε με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα

### ➤ **Μέγιστη μετατόπιση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας**

Δεν μεταβλήθηκε λόγω της αύξησης της πυκνότητας του πετρελαίου.

### 3.8.4 Σενάριο 5

Σε αυτό το σενάριο εφαρμόζονται όλες οι παράμετροι που εφαρμόζονται και στο κεφάλαιο 1 με τη μόνη διαφοροποίηση ότι αντί να διαρρέουν 13000 τόνοι πετρελαίου σε 24 ώρες, θεωρούμε ότι διαρρέουν 200 τόνοι στιγμιαία.

#### ➤ Διασπορά

Δεν επηρεάζεται σημαντικά ποσοστό διασποράς για στιγμιαία διαρροή πετρελαίου.

#### ➤ Εξάτμιση

Για στιγμιαία διαρροή παρατηρούμε ότι ο ρυθμός εξάτμισης είναι μεγαλύτερος τις πρώτες ώρες της μελέτης σε σχέση με την συνεχόμενη διαρροή.

#### ➤ Ιζηματοποίηση

Παρατηρούμε ότι ο όγκος και ο ρυθμός της ιζηματοποίησης δεν μεταβάλλονται με την αλλαγή του τύπου διαρροής.

#### ➤ Γαλακτωματοποίηση

Η μεταβολή της διαρροής δεν επηρέασε το ποσοστό γαλακτωματοποίησης σε κανένα από τα τρία προγράμματα. Η αβεβαιότητα του μοντέλου παραμένει στο 10%.

#### ➤ Ιξώδες του πετρελαίου

Οι τιμές και η μορφή των καμπυλών του ιξώδους δεν διαφοροποιούνται για στιγμιαία διαρροή.

#### ➤ Πυκνότητα του πετρελαίου

Η τιμή και η μορφή των καμπυλών της πυκνότητας δεν μεταβάλλονται για στιγμιαία διαρροή.

#### ➤ Όγκος που παραμένει στη θάλασσα

Η καμπύλη του όγκου που παραμένει στη θάλασσα μεταβάλλεται και ο όγκος μειώνεται λογαριθμικά.

#### ➤ Εξάπλωση

Δεν μεταβάλλεται ο ρυθμός εξάπλωσης. Η τελική επιφάνεια είναι μικρότερη λόγω του μικρότερου όγκου πετρελαίου που διαρρέει.

#### ➤ Πάχος πετρελαιοκηλίδας

Το πάχος της πετρελαιοκηλίδας αυξάνεται ελάχιστα για στιγμιαία διαρροή.

### ➤ **Μέγιστη μετατόπιση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας**

Δεν παρατηρείται μεταβολή σε σχέση με το σενάριο 1.

### **3.8.5 Σενάριο 6**

Σε αυτό το σενάριο εφαρμόζονται οι ίδιες παράμετροι με το σενάριο 5, εκτός από την ταχύτητα του ανέμου η οποία αυξάνεται από τους 8 στους 51 κόμβους.

#### ➤ **Διασπορά**

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση του ανέμου σε σχέση με το σενάριο 5, από τους 8 στους 51 κόμβους ο όγκος και το ποσοστό διασποράς αυξάνονται.

#### ➤ **Εξάτμιση**

Για αύξηση της ταχύτητας του αέρα σε σχέση με το σενάριο 5, από τους 8 στους 51 κόμβους, δεν έχουμε μεταβολή στην τιμή του ποσοστού εξάτμισης για τα Spillsolver App και SpillSolver 2.0 ενώ στο ADIOS 2 η τιμή του ποσοστού εξάτμισης μειώνεται ελάχιστα.

#### ➤ **Ιζηματοποίηση**

Παρατηρούμε ότι ο όγκος και ο ρυθμός της ιζηματοποίησης δεν μεταβάλλονται με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα.

#### ➤ **Γαλακτωματοποίηση**

Παρατηρούμε ότι η τιμή του τελικού ποσοστού γαλακτωματοποίησης δεν μεταβάλλεται λόγω της αύξησης της ταχύτητας του αέρα, αυξάνεται όμως ο ρυθμός γαλακτωματοποίησης με το μέγιστο να παρατηρείται τις πρώτες ώρες της μελέτης.

#### ➤ **Ιξώδες του πετρελαίου**

Η μεταβολή του ιξώδους είναι πιο έντονη σε σχέση με το σενάριο χαμηλότερης ταχύτητας ανέμου, γεγονός που είχε παρατηρηθεί και στην περίπτωση της συνεχούς διαρροής.

#### ➤ **Πυκνότητα του πετρελαίου**

Η μεταβολή της πυκνότητας είναι πιο έντονη σε σχέση με το σενάριο χαμηλότερης ταχύτητας ανέμου, γεγονός που είχε παρατηρηθεί και στην περίπτωση της συνεχούς διαρροής.

➤ **Όγκος που παραμένει στη θάλασσα**

Η τιμή του όγκου του πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα παρουσιάζεται μειωμένο σε σχέση με το σενάριο 5, έπειτα από την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου.

➤ **Εξάπλωση**

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου αυξήθηκε και η εξάπλωση της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας.

➤ **Πάχος πετρελαιοκηλίδας**

Το πάχος της πετρελαιοκηλίδας μειώθηκε με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα

➤ **Μέγιστη μετατόπιση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας**

Παρατηρούμε ότι η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου οδήγησε σε μεγαλύτερη μετακίνηση του κέντρου της πετρελαιοκηλίδας, χωρίς να μεταβληθεί η ταχύτητα του θαλάσσιου ρεύματος

### 3.8.6 Σχολιασμός

Στην ενότητα αυτή θα γίνει συγκεντρωτική αξιολόγηση και σχολιασμός των αποκλίσεων, που προέκυψαν για τις διάφορες διαδικασίες γήρανσης ανάμεσα στην εφαρμογή SpillSolver App και τα προγράμματα SpillSolver 2.0 και ADIOS 2. Μελετώντας τα αποτελέσματα ξεχωριστά για την κάθε διαδικασία γήρανσης, εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με την αξιοπιστία της εφαρμογής SpillSolver App.

Όσον αφορά τη *διασπορά* τα τρία προγράμματα εμφανίζουν μικρή απόκλιση, με το SpillSolver App να δίνει τιμές του ποσοστού διασπορά ανάμεσα σε αυτές των ADIOS 2 και SpillSolver2.0. Διαφοροποίηση έχουμε ωστόσο στο ρυθμό διασποράς, όπου στα SpillSolver App και SpillSolver2.0 παρουσιάζεται σταθερός και το ποσοστό διασποράς αυξάνεται γραμμικά, ενώ στο ADIOS 2 το ποσοστό διασποράς αρχικά αυξάνεται γρήγορα και στη συνέχεια φαίνεται να σταθεροποιείται. Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι το ADIOS 2 χρησιμοποιεί διαφορετικό μαθηματικό μοντέλο σε σχέση με τα άλλα δύο προγράμματα. Συμπερασματικά, υπάρχει αβεβαιότητα στο τελικό ποσοστό διασποράς.

Σχετικά με την *εξάτμιση* παρατηρούμε ότι και τα τρία προγράμματα παράγουν διαγράμματα ίδιας μορφής, δείχνοντας ότι τις πρώτες 24 ώρες ο ρυθμός εξάτμισης είναι μεγαλύτερος. Οι τιμές του ποσοστού εξάτμισης που προκύπτουν από τα SpillSolver 2.0 και το SpillSolver App είναι σχεδόν ίσες, ενώ η αντίστοιχη τιμή που προκύπτει από το ADIOS 2 είναι μεγαλύτερη της τάξης του 5-6 %. Η διαφορά αυτή στο ποσοστό της εξάτμισης επηρεάζει και το μοντέλο του παραμένουστος όγκου στο τέλος των πέντε ημερών. Συμπερασματικά και τα τρία προγράμματα παράγουν καμπύλες ίδιας μορφής και σχεδόν ίδιο ρυθμό εξάτμισης για όλα τα σενάρια διαρροής. Τα αποτελέσματα του SpillSolver App θεωρούνται κατά συνέπεια αξιόπιστα.

Αναφορικά με το μοντέλο του *ιξώδους*, τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0 εμφανίζουν πολύ μικρότερη τιμή του τελικού ιξώδους μετά από πέντε μέρες σε σύγκριση με το ADIOS 2. Η μορφή της καμπύλης του ιξώδους ωστόσο ήταν παρόμοια και στα τρία προγράμματα. Το πρόβλημα έτσι, είναι ποσοτικό και όχι ποιοτικό. Αυτό είναι πολύ πιθανό να οφείλεται στην επιλογή διαφορετικών συντελεστών στη σχέση της αύξησης του ιξώδους ή ακόμα και διαφορετικού μοντέλου.

Ως προς την *αύξηση της πυκνότητας*, τα τρία προγράμματα παρουσιάζουν καμπύλες με την ίδια μορφή. Τα SpillSolver App και SpillSolver 2.0 δίνουν σχεδόν ίδιες τελικές τιμές ελαφρώς διαφορετική σε σχέση με το ADIOS 2. Συμπερασματικά τα αποτελέσματα και των τριών προγραμμάτων για την τελική πυκνότητα της πετρελαιοκηλίδας, σε όλα τα σενάρια που μελετώνται, είναι αρκετά κοντά, με πολύ μικρές αποκλίσεις, οπότε η λειτουργία της εφαρμογής θεωρείται αξιόπιστη.

Ως προς το *μοντέλο γαλακτωματοποίησης* υπήρξε σε μεγάλο βαθμό συμφωνία μεταξύ των τριών προγραμμάτων τόσο ως προς τη μορφή των καμπυλών όσο ως προς τις μέγιστες τιμές του ποσοστού γαλακτωματοποίησης. Ο ρυθμός γαλακτωματοποίησης εμφανίζεται ίδιος και στα τρία προγράμματα ενώ τα τελικά ποσοστά γαλακτωματοποίησης παρουσιάζουν μέγιστη αβεβαιότητα της τάξης του 10%. Μπορεί να θεωρηθεί ότι η εφαρμογή SpillSolver App περιγράφει με αξιοπιστία το φαινόμενο της γαλακτωματοποίησης.



Τα προγράμματα SpillSolver App και SpillSolver 2.0 εξάγουν αποτελέσματα σχετικά με το πάχος της πετρελαιοκηλίδας. Τα αποτελέσματα αυτά έχουν πολύ κοντινές τιμές, με το SpillSolver App δίνει ίσες ή λίγο μικρότερες τιμές του τελικού πάχους σε σχέση με το SpillSolver 2.0. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής θεωρούνται κατά συνέπεια αξιόπιστα.

Τα προγράμματα SpillSolver App και SpillSolver 2.0 εξάγουν αποτελέσματα σχετικά με την εξάπλωση της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας. Τα αποτελέσματα αυτά έχουν αρκετά κοντινές τιμές.

Τελικά μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η εφαρμογή SpillSolver App παράγει γενικά αξιόπιστα αποτελέσματα τα οποία μας επιτρέπουν να εξετάσουμε σε ικανοποιητικό βαθμό τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά μίας τυχαίας πετρελαιοκηλίδας. Προσοχή πρέπει να δωθεί στο μοντέλο διασποράς στο οποίο παρατηρείται η μεγαλύτερη αβεβαιότητα.

## Κεφάλαιο 4

### Ανάλυση ευαισθησίας της εφαρμογής SpillSolver App

#### 4.1 Εισαγωγή

Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι η εξακρίβωση της ορθής λειτουργίας της εφαρμογής SpillSolver App μέσω της διερεύνησης του τρόπου με τον οποίο η μεταβολή των διάφορων παραμέτρων εισόδου επηρεάζει τις τελικές τιμές των μεγεθών που περιγράφουν τις ιδιότητες της πετρελαιοκηλίδας.

Για το σκοπό αυτό έγινε εφαρμογή διαδοχικών σεναρίων στα οποία μεταβάλεται μόνο μία από τις παραμέτρους εισόδου, ενώ όλες οι άλλες παραμένουν σταθερές. Τα αποτελέσματα που εξετάζονται αφορούν τις τιμές των μεγεθών όπως αυτές προέκυψαν για χρονικό διάστημα 120 ωρών μετά την αρχική διαρροή και παρουσιάζονται με τη μορφή πινάκων και διαγραμμάτων. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν συγκεντρώνονται, αναλύονται και σχολιάζονται, λαμβάνοντας πάντα υπόψιν τις μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιεί η εφαρμογή για την περιγραφή των διαδικασιών γήρανσης.

Οι παράμετροι εισόδου, των οποίων η επίδραση στις διεργασίες γήρανσης εξετάζεται, είναι ο τύπος του πετρελαίου, η ταχύτητα του ανέμου, η ταχύτητα του θαλάσσιου ρεύματος και η θερμοκρασία του νερού της θάλασσας.

## 4.2 Ανάλυση ευαισθησίας

### 4.2.1 Μεταβολή του τύπου πετρελαίου

Στα πλαίσια της ενότητας αυτής εφαρμόστηκε ένα σενάριο για κάθε ένα από τους διαθέσιμους τύπους πετρελαίου που μπορεί να επιλέξει ο χρήστης του SpillSolver App σαν παράμετρο εισόδου. Οι διαθέσιμοι τύποι πετρελαίου είναι οι Nigerian Light, Sarir, Ecofisc, Qatar Marine, Stratfjord, Arabian Light, Iranian Light, Kuwait.

Οι υπόλοιπες παράμετροι εισόδου παρέμειναν σταθερές σε όλα τα σενάρια και παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.1.1:

Τύπος Πετρελαίου:	
Ταχύτητα Ανέμου:	5 Beaufort
Θερμοκρασία νερού:	12 Celcius
Πυκνότητα νερού:	1025 kg/m <sup>3</sup>
Αλατότητα νερού:	3.50%
Ταχύτητα ρεύματος:	1 knot
Όγκος διαρροής:	13000 ton
Διάρκεια διαρροής:	10 Hours

Πίνακας 4.2.1.1 : Παράμετροι σεναρίων διαρροής

Στον πίνακα 4.2.1.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, όπως προέκυψαν για κάθε τύπο πετρελαίου.

Παρατηρείται στις τιμές των αποτελεσμάτων της εφαρμογής SpillSolver App, ότι οι διαδικασίες που επηρεάζονται από τη μεταβολή του τύπου πετρελαίου είναι η εξάτμιση, η εξάπλωση, η μεταβολή του πάχους της πετρελαιοκηλίδας και η μεταβολή του ιξώδους και της πυκνότητας του πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα.

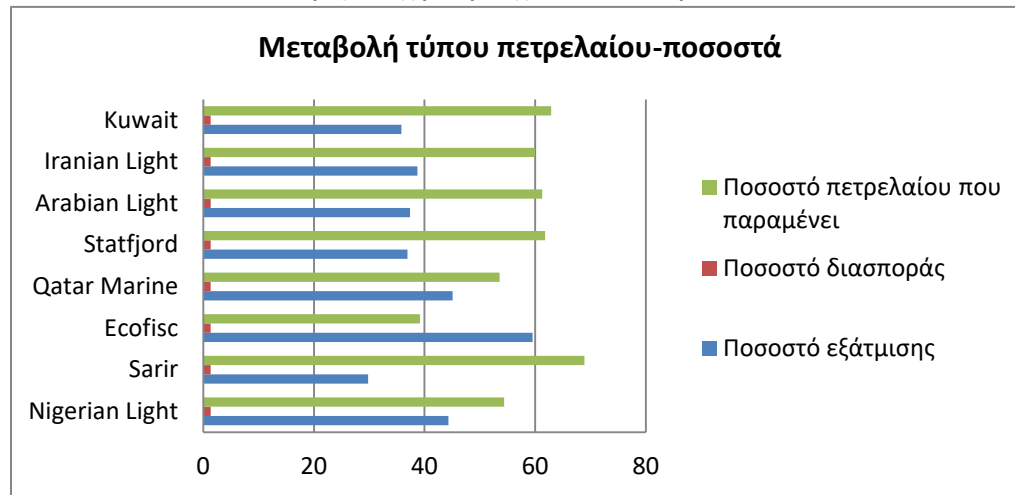
Η διασπορά, η ιζηματοποίηση, η γαλακτωματοποίηση και μετατόπιση της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας, παραμένουν σταθερές και ανεξάρτητες του τύπου πετρελαίου.

Πίνακας 4.2.1.2 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

<b>Τύπος πετρελαίου</b>	<b>Nigerian Light</b>	<b>Sarir</b>	<b>Ecofisc</b>	<b>Qatar Marine</b>
Πυκνότητα πετρελαίου [kg/m <sup>3</sup> ]	836	833	924	949
Ιξώδες πετρελαίου [cSt]	2.82	3.62	4.5	4.8
Ποσοστό εξάτμισης %	44.319	29.782	59.531	45.08
Ποσοστό διασποράς %	1.322	1.322	1.322	1.322
Εναπομένων όγκος πετρελαίου %	54.358	68.896	39.146	53.596
Όγκος ιζηματοποίησης [m <sup>3</sup> ]	0.0139	0.0139	0.0139	0.0139
Ποσοστό Γαλακτωματοποίησης %	80	80	80	80
Πυκνότητα [kg/m <sup>3</sup> ]	1019.461	1021.278	1017.56	1019.366
Ιξώδες [cSt]	187.048	240.112	298.482	318.38
Εξάπλωση [km <sup>2</sup> ]	2.023	1.549	2.316	1.883
Πάχος πετρελαιοκηλίδας [m]	0.00422	0.00698	0.00243	0.00394
Μετατόπιση πετρελαιοκηλίδας [m]	328.915	328.915	328.915	328.915
<b>Τύπος πετρελαίου</b>	<b>Statfjord</b>	<b>Arabian Light</b>	<b>Iranian Light</b>	<b>Kuwait</b>
Πυκνότητα πετρελαίου [kg/m <sup>3</sup> ]	949	850	855	976
Ιξώδες πετρελαίου [cSt]	4.8	6.3	6.2	10.3
Ποσοστό εξάτμισης %	36.904	37.402	38.721	35.79
Ποσοστό διασποράς %	1.322	1.322	1.322	1.322
Εναπομένων όγκος πετρελαίου %	61.774	61.275	59.956	62.887
Όγκος ιζηματοποίησης [m <sup>3</sup> ]	0.0139	0.0139	0.0139	0.0139
Ποσοστό Γαλακτωματοποίησης %	80	80	80	80
Πυκνότητα [kg/m <sup>3</sup> ]	1020.388	1020.326	1020.161	1020.527
Ιξώδες [cSt]	318.38	417.874	411.241	683.191
Εξάπλωση [km <sup>2</sup> ]	1.644	1.784	1.819	1.581
Πάχος πετρελαιοκηλίδας [m]	0.005188	0.00529	0.00505	0.00534
Μετατόπιση πετρελαιοκηλίδας [m]	328.915	328.915	328.915	328.915

Αρχικά θα εξεταστεί πως ο κάθε διαφορετικός τύπος πετρελαίου επηρεάζει τα αποτελέσματα που αφορούν τα ποσοστά του πετρελαίου που εξατμίζεται, διασπείρεται και παραμένει στο νερό. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα, στην εικόνα 4.2.1.1 :

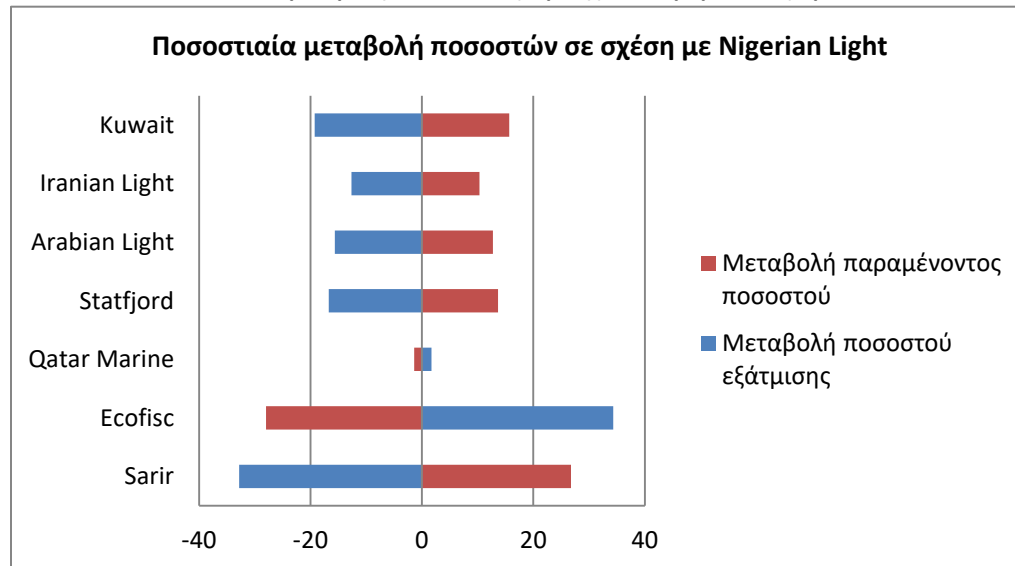
Εικόνα 4.2.1.1: Ποσοστά συναρτήσεως της μεταβολής του τύπου πετρελαίου



Παρατηρείται ότι το ποσοστό διασποράς παραμένει σταθερό, ανεξαρτήτως από τον τύπο του πετρελαίου που διαρρέει.

Στην εικόνα 4.2.1.2 παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές των ποσοστών εξάτμισης και παραμένουστος όγκου, για κάθε τύπο πετρελαίου, συγκριτικά με τον τύπο πετρελαίου Nigerian Light:

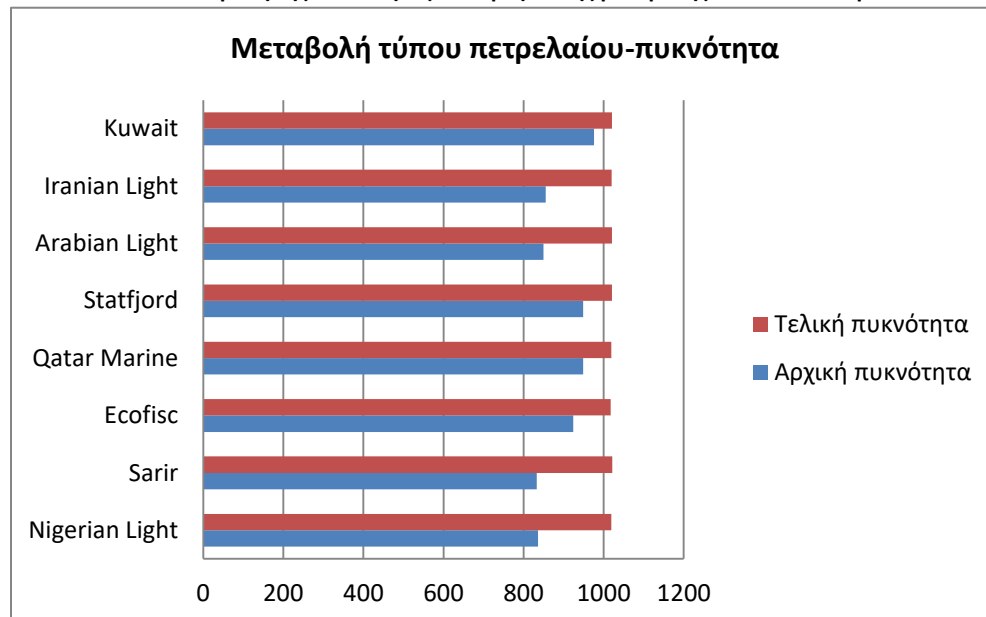
Εικόνα 4.2.1.2: Ποσοστιαία μεταβολή ποσοστών εξάτμισης και παραμένουστος όγκου



Παρατηρούμε τη μεγαλύτερη απόκλιση σε σχέση με το πετρέλαιο Nigerian Light για τα πετρέλαια Sarir και Ecofisc.

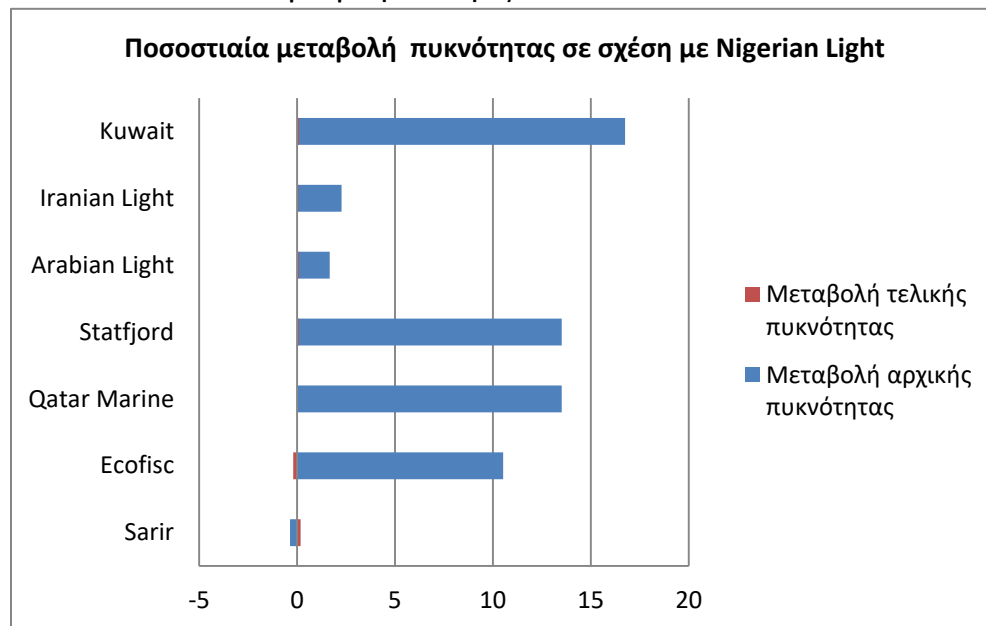
Στην εικόνα 4.2.1.3 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι αρχικές και τελικές πυκνότητες της πετρελαιοκηλίδας για κάθε τύπο πετρελαίου.

**Εικόνα 4.2.1.3: Μεταβολή της πυκνότητας συναρτήσει της μεταβολής του τύπου πετρελαίου**



Παρατηρούμε ότι η αρχική τιμή της πυκνότητας δεν επηρεάζει την τελική, η οποία παίρνει πολύ κοντινές τιμές για όλους τους τύπους πετρελαίου. Αυτό παρουσιάζεται και στο διάγραμμα ποσοστιαίας μεταβολής της πυκνότητας για κάθε τύπου πετρελαίου σε σχέση με το πετρέλαιο Nigerian Light, όπου η τελική τιμή της πυκνότητας παρουσιάζει ελάχιστες διαφοροποιήσεις.

**Εικόνα 4.2.1.4: Ποσοστιαία μεταβολή πυκνότητας**



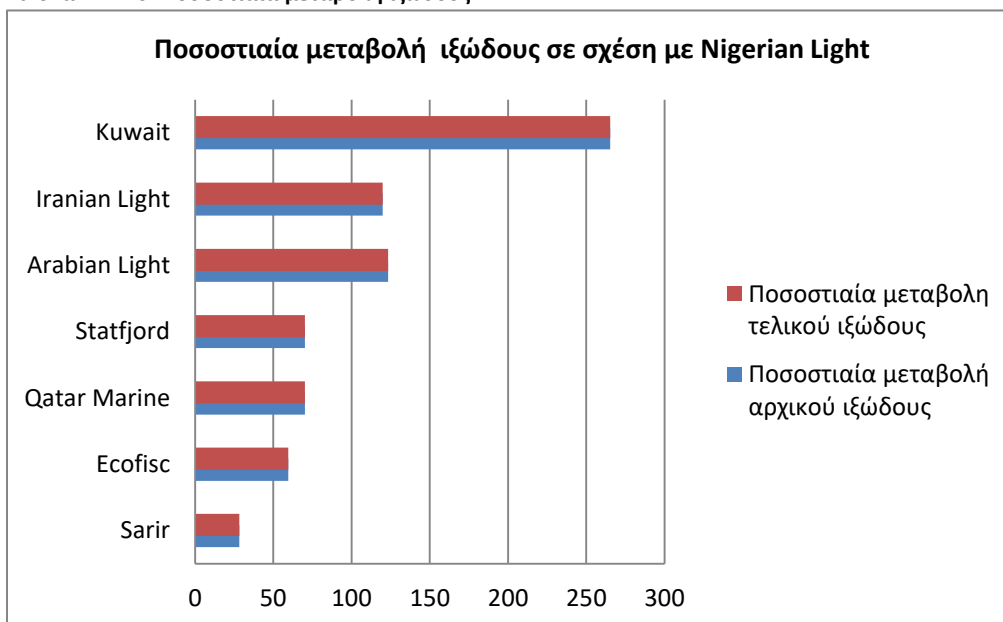
Εικόνα 4.2.1.5: Μεταβολή του ιξώδους συναρτήσει της μεταβολής του τύπου πετρελαίου



Τύποι πετρελαίου με μεγαλύτερη αρχική τιμή ιξώδους υφίστανται μεγαλύτερη αύξηση στο ιξώδες.

Στον παρακάτω πίνακα 4.2.1.6 παρουσιάζεται η ποσοστιαία διαφορά του αρχικού και τελικού ιξώδους για κάθε τύπο πετρελαίου σε σχέση με το πετρέλαιο Nigerian Light. Παρατηρούμε ότι η ποσοστιαία διαφορά αρχικού και τελικού ιξώδους είναι ίδια για κάθε τύπο πετρελαίου.

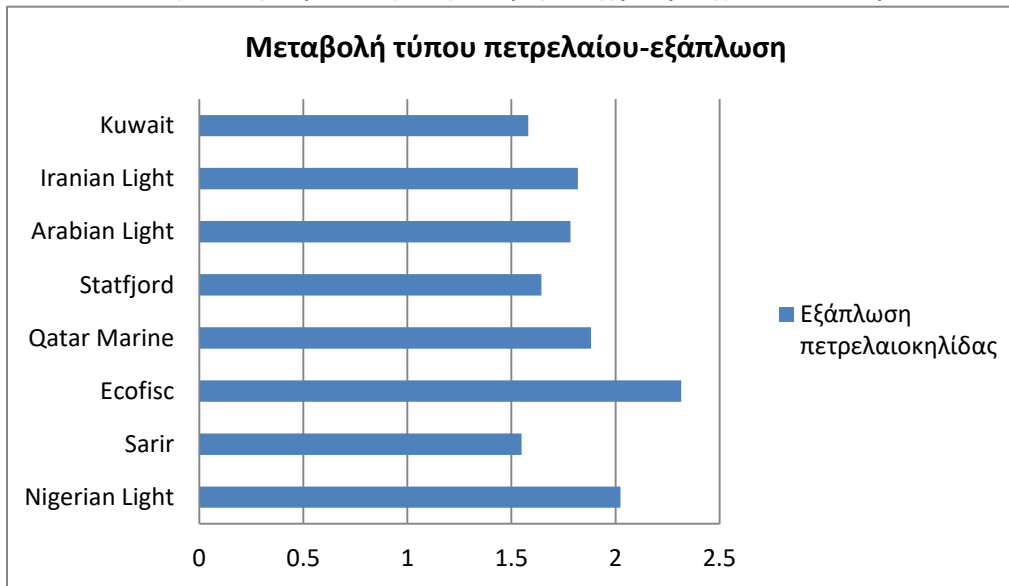
Εικόνα 4.2.1.6: Ποσοστιαία μεταβολή ιξώδους



Στη συνέχεια εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο η μεταβολή του τύπου πετρελαίου επηρεάζει την εξάπλωση της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας. Στην εικόνα 4.2.1.7 παρουσιάζεται η εξάπλωση της πετρελαιοκηλίδας, σε τετραγωνικά χιλιόμετρα, για κάθε τύπο πετρελαίου.



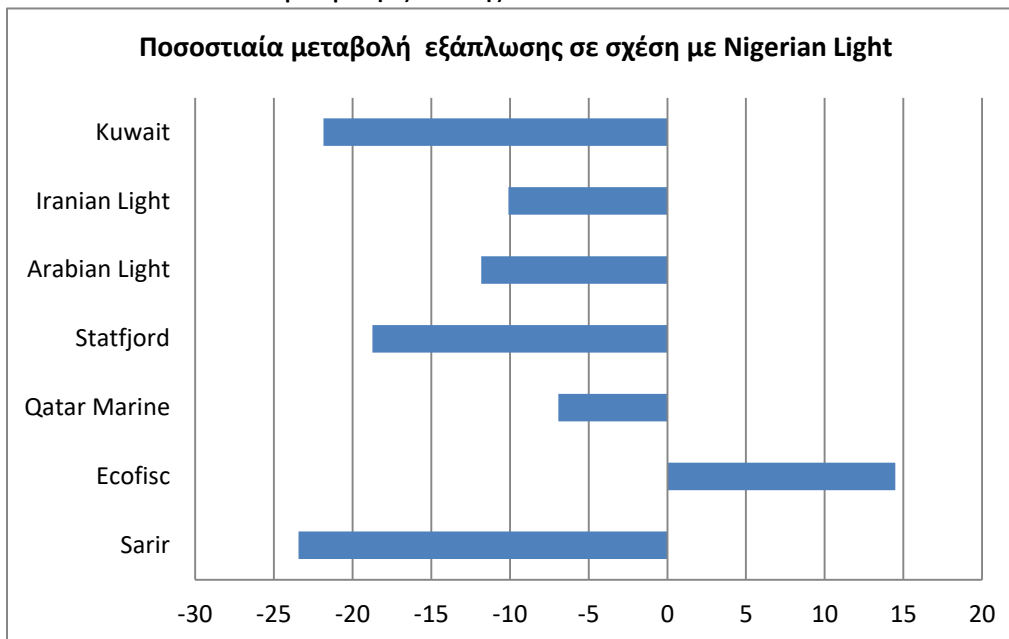
Εικόνα 4.2.1.7: Εξάπλωση πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει της μεταβολής του τύπου πετρελαίου



Η μεγαλύτερη τιμή εξάπλωσης παρατηρείται για το πετρέλαιο Ecofisc ενώ η μικρότερη για το πετρέλαιο Sarir.

Στην εικόνα 4.2.1.8 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή της εξάπλωσης για κάθε τύπο πετρελαίου, σε σχέση με το πετρέλαιο Nigerian Light.

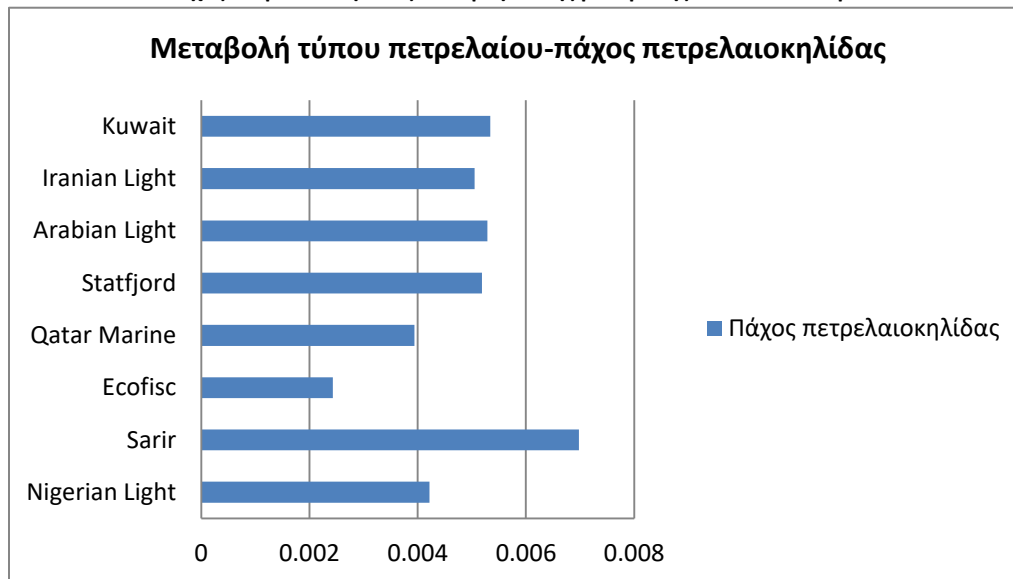
Εικόνα 4.2.1.6: Ποσοστιαία μεταβολή εξάπλωσης



Τα πετρέλαια Sarir και Kuwait παρουσιάζουν την μεγαλύτερη διαφοροποίηση, με τελικές τιμές μικρότερες κατά περισσότερο από 20% σε σχέση με το Nigerian Light. Το πετρέλαιο Ecofisc είναι το μόνο που εμφανίζει μεγαλύτερη τιμή εξάπλωσης από το πετρέλαιο Nigerian Light.

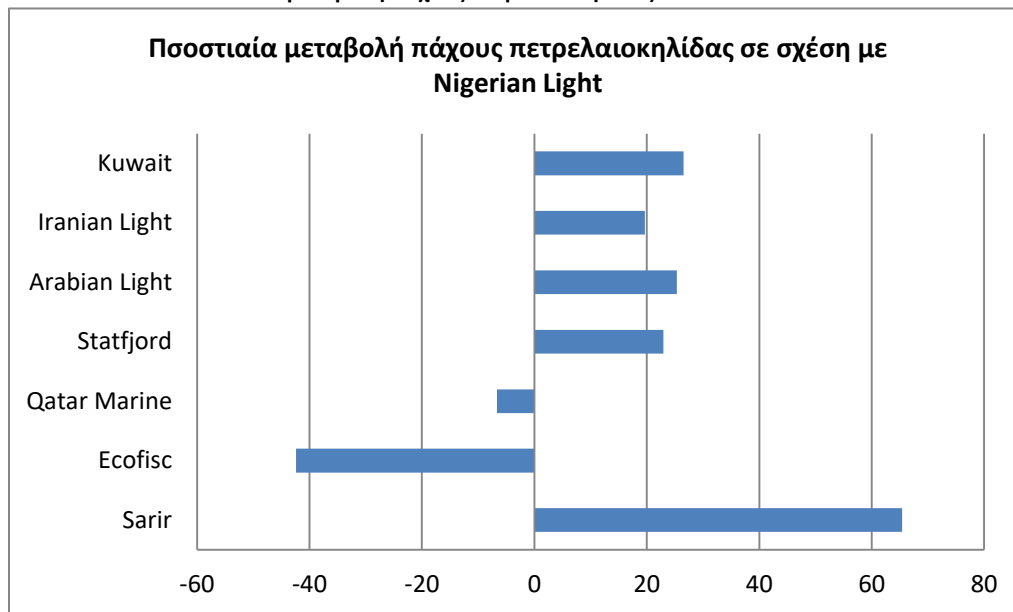
Τέλος παρουσιάζεται το τελικό πάχος της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει του τύπου πετρελαίου που επιλέχθηκε.

Εικόνα 4.2.1.9: Πάχος πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει της μεταβολής του τύπου πετρελαίου



Στην εικόνα 4.2.1.10 παρουσιάζεται η ποσοστιαία μεταβολή του πάχους ανάλογα με τον τύπο πετρελαίου σε σχέση με το αντίστοιχο πάχος που προέκυψε για το πετρέλαιο Nigerian Light.

Εικόνα 4.2.1.6: Ποσοστιαία μεταβολή πάχους πετρελαιοκηλίδας



Το πετρέλαιο Ecofisc παρουσιάζει την μεγαλύτερη διαφοροποίηση (>40%) σε σχέση με το πετρέλαιο Nigerian Light ενώ το Qatar Marine την μικρότερη (<10%).

Συμπερασματικά, μπορεί να ειπωθεί ότι για όλες τις διεργασίες γήρανσης, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την αλλαγή του τύπου πετρελαίου είναι αναμενόμενα, βάσει των μαθηματικών συναρτήσεων που έχουν χρησιμοποιηθεί.

## 4.2.2 Μεταβολή της ταχύτητας του αέρα

Στην ενότητα αυτή έγινε εφαρμογή δώδεκα διαδοχικών σεναρίων για ταχύτητες ανέμου από ένα έως δώδεκα Beaufort. Όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές εισόδου λαμβάνουν σταθερές τιμές σε όλα τα σενάρια και οι τιμές τους συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα 4.2.2.1 :

**Πίνακας 4.2.2.1 : Σταθερές παράμετροι σεναρίων**

Τύπος Πετρελαίου:	Nigerian Light
<b>Ταχύτητα Ανέμου:</b>	<b>1-12 Beaufort</b>
Θερμοκρασία νερού:	12 Celcius
Πυκνότητα νερού:	1025 kg/m <sup>3</sup>
Αλατότητα νερού:	3.50%
Ταχύτητα ρεύματος:	1 knot
Όγκος διαρροής:	13000 ton
Διάρκεια διαρροής:	10 Hours

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής SpillSolver App για τα σενάρια αυτά παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 4.2.2.2.

Οι διαδικασίες γήρανσης οι οποίες επηρεάζονται από τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου, είναι η διασπορά, η εξάπλωση, η μεταβολή του πάχους και η μετατόπιση της πετρελαιοκηλίδας.

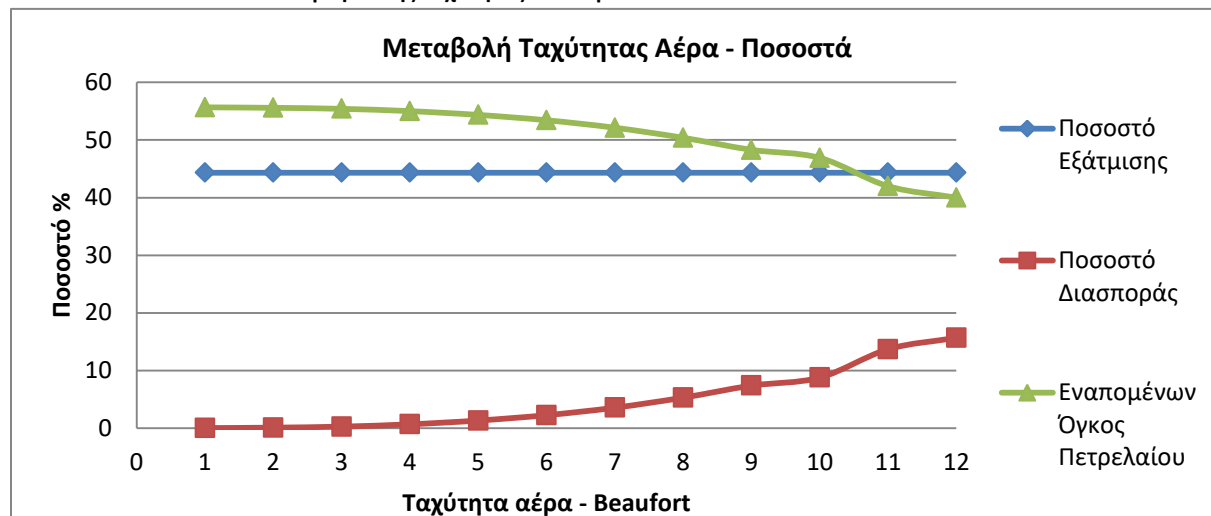
Η εξάτμιση, η ιζηματοποίηση, η γαλακτωματοποίηση και η μεταβολή του ιξώδους και της πυκνότητας παραμένουν σταθερές και τα αποτελέσματά των αριθμητικών σχέσεων που τις περιγράφουν δεν μεταβάλλονται με την μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου.

Πίνακας 4.2.2.2 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

<b>Ταχύτητα Ανέμου:[beaufort]</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Ποσοστό εξάτμισης %	44.319	44.319	44.319
Ποσοστό διασποράς %	0.014	0.09	0.267
Εναπομένων όγκος πετρελαίου %	55.67	55.591	55.414
Όγκος ιζηματοποίησης [m3]	0.0139	0.0139	0.0139
Ποσοστό Γαλακτωματοποίησης %	80	80	80
Πυκνότητα [kg/m3]	1019.459	1019.459	1019.461
Ιξώδες [cSt]	186.919	187.048	187.048
Εξάπλωση [km2]	1.972	1.979	1.988
Πάχος πετρελαιοκηλίδας [m]	0.00439	0.00437	0.00434
Μετατόπιση πετρελαιοκηλίδας [km]	228.9	248.909	268.91
<b>Ταχύτητα Ανέμου:[beaufort]</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ποσοστό εξάτμισης %	44.319	44.319	44.319
Ποσοστό διασποράς %	0.667	1.322	2.25
Εναπομένων όγκος πετρελαίου %	55.013	54.358	53.431
Όγκος ιζηματοποίησης [m3]	0.0139	0.0139	0.0139
Ποσοστό Γαλακτωματοποίησης %	80	80	80
Πυκνότητα [kg/m3]	1019.461	1019.461	1019.461
Ιξώδες [cSt]	187.048	187.048	187.048
Εξάπλωση [km2]	2.002	2.023	2.052
Πάχος πετρελαιοκηλίδας [m]	0.00429	0.00422	0.00413
Μετατόπιση πετρελαιοκηλίδας [km]	295.579	328.915	368.918
<b>Ταχύτητα Ανέμου:[beaufort]</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Ποσοστό εξάτμισης %	44.319	44.319	44.319
Ποσοστό διασποράς %	3.547	5.29	7.38
Εναπομένων όγκος πετρελαίου %	52.134	50.39	48.3
Όγκος ιζηματοποίησης [m3]	0.0139	0.0139	0.0139
Ποσοστό Γαλακτωματοποίησης %	80	80	80
Πυκνότητα [kg/m3]	1019.461	1019.461	1019.461
Ιξώδες [cSt]	187.048	187.048	187.048
Εξάπλωση [km2]	2.083	2.116	2.157
Πάχος πετρελαιοκηλίδας [m]	0.00401	0.00387	0.003718
Μετατόπιση πετρελαιοκηλίδας [km]	408.922	448.925	495.595
<b>Ταχύτητα Ανέμου:[beaufort]</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
Ποσοστό εξάτμισης %	44.319	44.319	44.319
Ποσοστό διασποράς %	8.778	13.69	15.682
Εναπομένων όγκος πετρελαίου %	46.902	41.991	39.999
Όγκος ιζηματοποίησης [m3]	0.0139	0.0139	0.0139
Ποσοστό Γαλακτωματοποίησης %	80	80	80
Πυκνότητα [kg/m3]	1019.461	1019.461	1019.461
Ιξώδες [cSt]	187.048	187.048	187.048
Εξάπλωση [km2]	2.201	2.253	2.302
Πάχος πετρελαιοκηλίδας [m]	0.00359	0.003316	0.003172
Μετατόπιση πετρελαιοκηλίδας [km]	542.266	595.603	642.274

Αρχικά εξετάζεται η επίδραση της αύξησης της ταχύτητας του αέρα στα ποσοστά εξάτμισης, διασποράς και παραμένουτος όγκου πετρελαίου στη θάλασσα. Τα ανωτέρω μεγέθη παρουσιάζονται συναρτήσει της ταχύτητας του αέρα στο διάγραμμα της εικόνας 4.2.2.1.

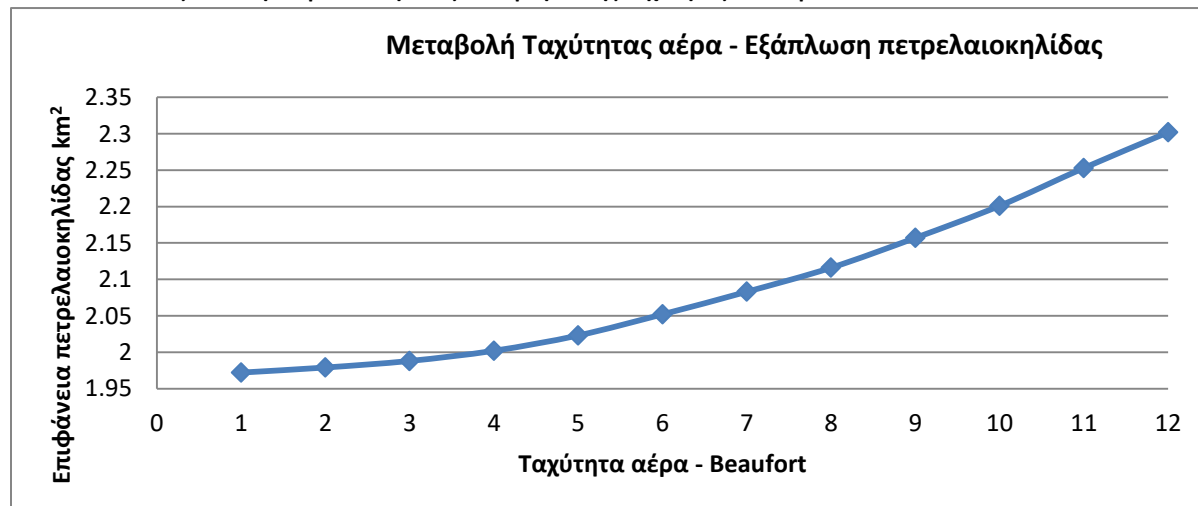
Εικόνα 4.2.2.1: Ποσοστά συναρτήσει της ταχύτητας του αέρα



Παρατηρείται ότι το ποσοστό εξάτμισης παραμένει αμετάβλητο. Η αύξηση της ταχύτητας του αέρα έχει ως συνέπεια την αύξηση του ποσοστού διασποράς και κατά συνέπεια την μείωση του ποσοστού του πετρελαίου που παραμένει στο νερό. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο με βάση τις μαθηματικές συναρτήσεις που περιγράφουν τις διεργασίες της διασποράς και της εξάτμισης.

Στη συνέχεια εξετάζεται η διεργασία της εξάπλωσης της επιφάνειας του πετρελαίου που διαρρέει στη θάλασσα, συναρτήσει της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου.

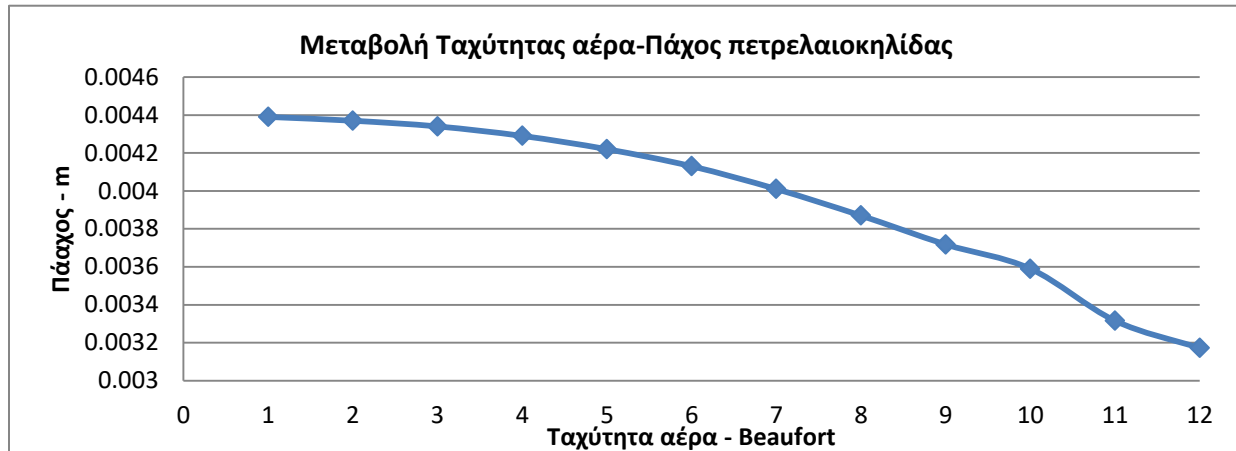
Εικόνα 4.2.2.2: Εξάπλωση πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει της ταχύτητας του αέρα



Παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη η ταχύτητα του ανέμου τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η τελική επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας, παρόλο που όπως παρατηρήθηκε παραπάνω, ο όγκος του πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα ελατώνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα του αέρα.

Έπειτα παρουσιάζεται το τελικό πάχος της πετρελαιοκηλίδας, όπως προκύπτει για κάθε μία από τις δώδεκα διαφορετικές τιμές της ταχύτητας του αέρα.

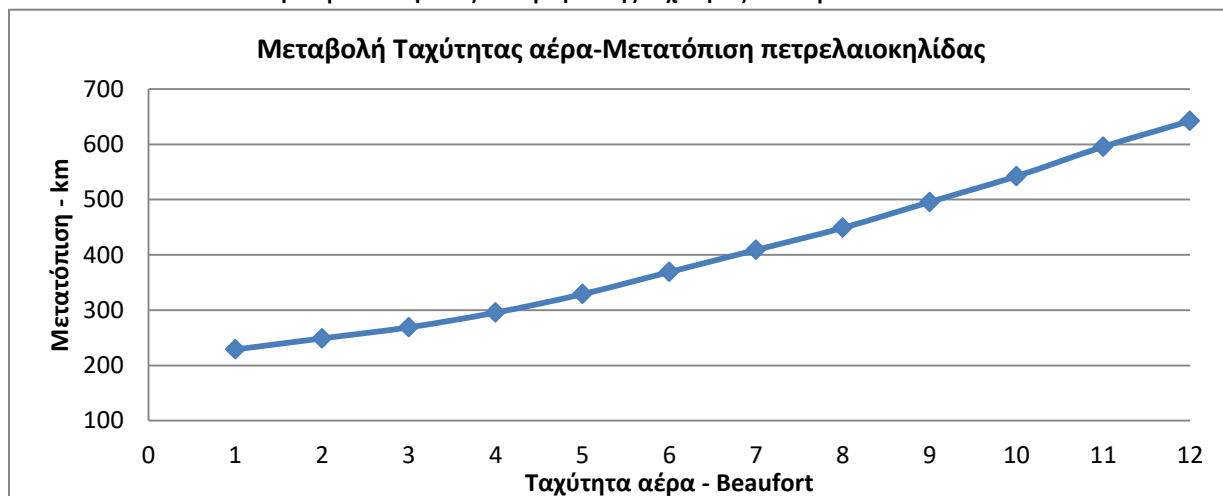
Εικόνα 4.2.2.3: Πάχος πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει της ταχύτητας του αέρα



Το πάχος της πετρελαιοκηλίδας φαίνεται να ελλατώνεται με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα. Αυτό είναι λογικό καθώς, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αύξηση της ταχύτητας έχει ως συνέπεια μεγαλύτερη τελική επιφάνεια της πετρελαιοκηλίδας.

Η τελευταία διαδικασία η οποία εξετάζεται στα σενάρια μεταβολής του ανέμου είναι η μετατόπιση του κέντρου της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας.

Εικόνα 4.2.2.4: Μετατόπιση πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει της ταχύτητας του αέρα



Παρατηρείται ότι η αύξηση της ταχύτητας του αέρα έχει ως συνέπεια μεγαλύτερη τελική μετατόπιση της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας, συμπεριφορά η οποία δικαιολογείται πλήρως από τη σχέση που περιγράφει το φαινόμενο της μετατόπισης.

Τα παραπάνω αποτελέσματα θεωρούνται αναμενόμενα και κατά συνέπεια η λειτουργία της εφαρμογής ορθή.

### 4.2.3 Μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού της θάλασσας

Στην ενότητα αυτή εφαρμόζονται διαδοχικά σενάρια, στα οποία η μεταβλητή που διαφοροποιείται είναι μόνο η θερμοκρασία του νερού της θάλασσας. Οι τιμές που λαμβάνει η θερμοκρασία του νερού είναι από 1 έως 35 βαθμούς Κελσίου.

Οι υπόλοιπες μεταβλητές αυτών των σεναρίων παραμένουν σταθερές και λαμβάνουν τις τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.3.1.

**Πίνακας 4.2.3.1: Σταθερές παράμετροι σεναρίων**

Τύπος Πετρελαίου:	Nigerian Light
Ταχύτητα Ανέμου:	5 Beaufort
<b>Θερμοκρασία νερού:</b>	1-35 Celcius
Πυκνότητα νερού:	1025 kg/m <sup>3</sup>
Αλατότητα νερού:	3.50%
Ταχύτητα ρεύματος:	1 knot
Όγκος διαρροής:	13000 ton
Διάρκεια διαρροής:	10 Hours

Τα αποτελέσματα των σεναρίων συνοψίζονται στον πίνακα 4.2.3.2 που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα.

Παρατηρείται από τα αριθμητικά αποτελέσματα, ότι οι ιδιότητες της πετρελαιοκηλίδας που επηρεάζονται από τη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού είναι το ποσοστό εξάτμισης (και κατά συνέπεια το ποσοστό του πετρελαίου που παραμένει στο νερό), η πυκνότητα, η εξάπλωση και το πάχος. Ο τρόπος μεταβολής των ιδιοτήτων αυτών συναρτήσκει της μεταβολής της θερμοκρασίας του νερού εξετάζεται παρακάτω.

Οι υπόλοιπες ιδιότητες του πετρελαίου για τις οποίες εξάγει αποτελέσματα το SpillSolver App (ποσοστό διασποράς, όγκος ιζηματοποίησης, ποσοστό γαλακτωματοποίησης, ιξώδες, μετατόπιση πετρελαιοκηλίδας) παραμένουν ανεπηρέαστες από τη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού και κατά συνέπεια δεν εξετάζονται περαιτέρω στην παρούσα ενότητα.

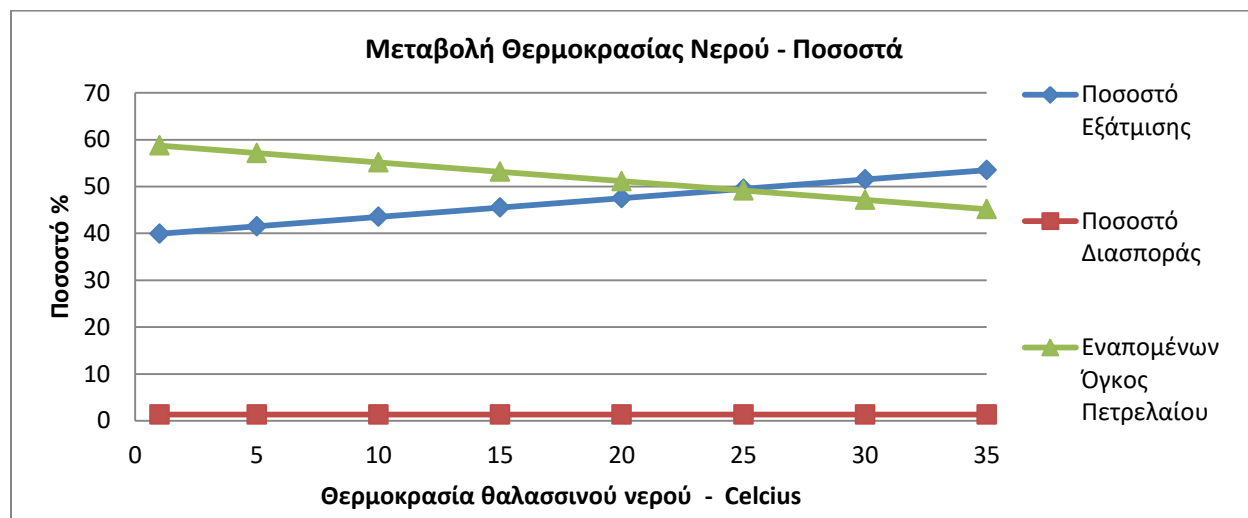


Πίνακας 4.2.3.2 : Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Θερμοκρασία νερού:	1	5	10	15
Ποσοστό εξάτμισης %	39.923	41.522	43.52	45.519
Ποσοστό διασποράς %	1.322	1.322	1.322	1.322
Εναπομένων όγκος πετρελαίου %	58.755	57.156	55.157	53.159
Όγκος ιζηματοποίησης [m3]	0.0139	0.0139	0.0139	0.0139
Ποσοστό Γαλακτωματοποίησης %	80	80	80	80
Πυκνότητα [kg/m3]	1020.011	1019.811	1019.561	1019.312
Ιξώδες [cSt]	187.048	187.048	187.048	187.048
Εξάπλωση [km2]	1.885	1.936	1.99	2.06
Πάχος πετρελαιοκηλίδας [m]	0.0049	0.0046	0.0043	0.004
Μετατόπιση πετρελαιοκηλίδας [km]	328.915	328.915	328.915	328.915
Θερμοκρασία νερού:	20	25	30	35
Ποσοστό εξάτμισης %	47.517	49.515	51.514	53.512
Ποσοστό διασποράς %	1.322	1.322	1.322	1.322
Εναπομένων όγκος πετρελαίου %	51.161	49.162	47.164	45.165
Όγκος ιζηματοποίησης [m3]	0.0139	0.0139	0.0139	0.0139
Ποσοστό Γαλακτωματοποίησης %	80	80	80	80
Πυκνότητα [kg/m3]	1019.062	1018.812	1018.562	1018.313
Ιξώδες [cSt]	187.048	187.048	187.048	187.048
Εξάπλωση [km2]	2.122	2.182	2.241	2.3
Πάχος πετρελαιοκηλίδας [m]	0.0038	0.0035	0.0033	0.0031
Μετατόπιση πετρελαιοκηλίδας [km]	328.915	328.915	328.915	328.915

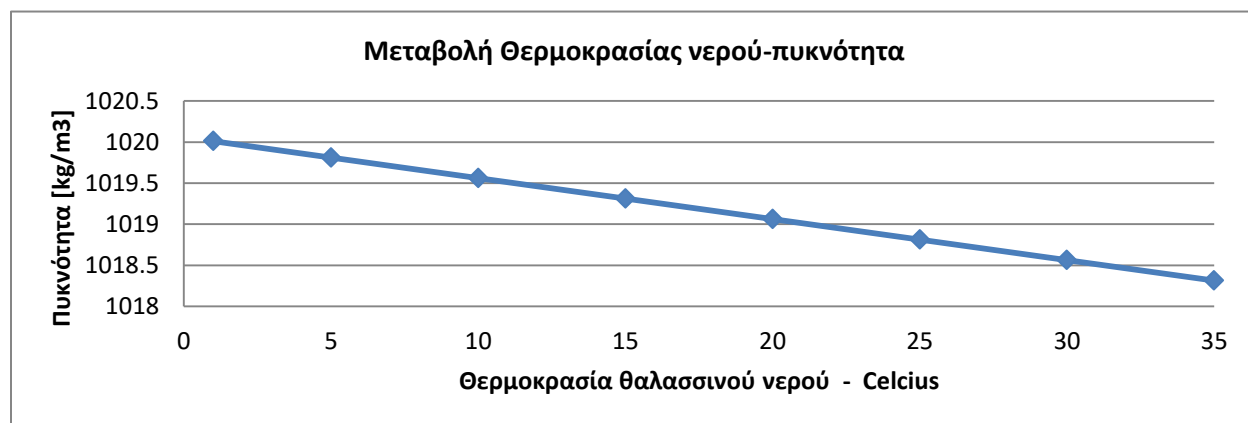
Αρχικά εξετάζεται η επίδραση της αύξησης της ταχύτητας της θερμοκρασίας του νερού στα ποσοστά εξάτμισης, διασποράς και παραμένουτος όγκου πετρελαίου στη θάλασσα. Τα ανωτέρω μεγέθη παρουσιάζονται συναρτήσει της ταχύτητας του αέρα στο διάγραμμα της εικόνας 4.2.3.1.

Εικόνα 4.2.3.1: Ποσοστά συναρτήσει της θερμοκρασίας του νερού



Παρατηρείται στην εικόνα 4.2.3.1 ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ποσοστού εξάτμισης και ανάλογη μείωση του ποσοστού του πετρελαίου που παραμένει στη θάλασσα, ενώ δεν επηρεάζει καθόλου το ποσοστό διασποράς, το οποίο παραμένει σταθερό για όλα τα διαδοχικά σενάρια. Τα παραπάνω αποτελέσματα είναι απολύτως φυσιολογικά, δεδομένων των μαθηματικών σχέσεων που περιγράφουν τις ανωτέρω διαδικασίες γήρανσης.

Στη συνέχεια εξετάζεται η μεταβολή της πυκνότητας του πετρελαίου που διαρρέει συναρτήσει της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού.

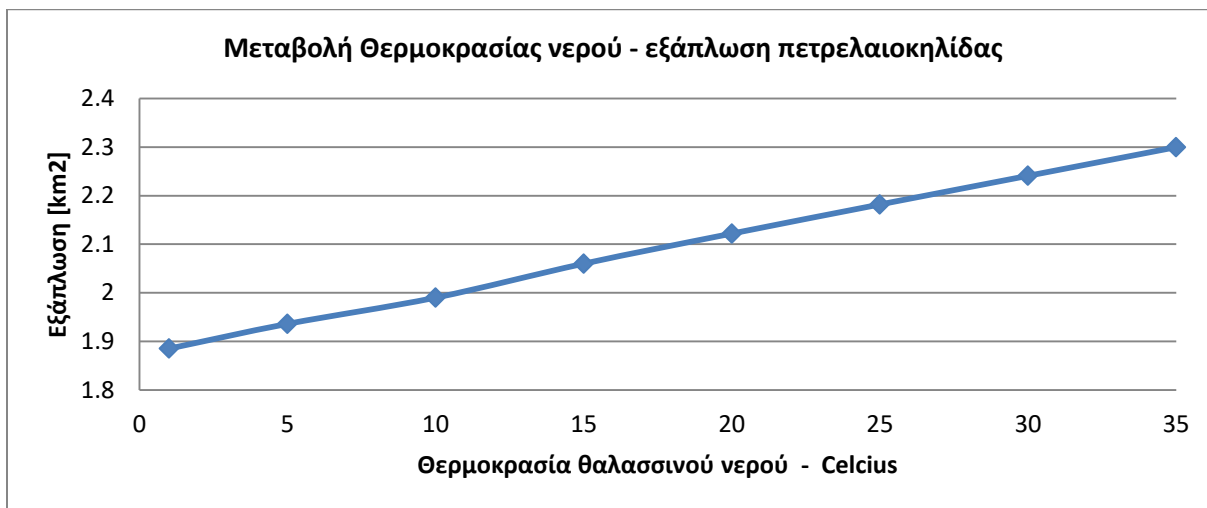


Εικόνα 4.2.3.2: Πυκνότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας του νερού

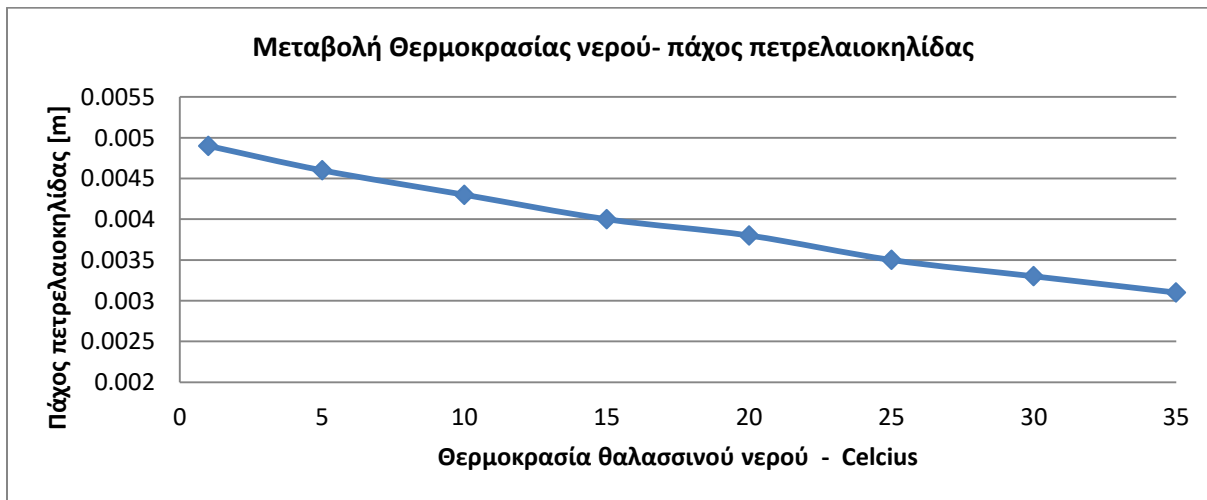
Παρατηρείται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως συνέπεια μία μικρή μείωση στην τιμή της τελικής πυκνότητας του πετρελαίου.

Έπειτα παρουσιάζεται η μεταβολή της εξάπλωσης και του πάχους της πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει της μεταβολής της θερμοκρασίας του νερού.

Εικόνα 4.2.3.3: Εξάπλωση πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει της θερμοκρασίας του νερού



Εικόνα 4.2.3.4: Πάχος πετρελαιοκηλίδας συναρτήσει της θερμοκρασίας του νερού



Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού έχει ως συνέπεια την αύξηση της εξάπλωσης της πετρελαιοκηλίδας και την μείωση του πάχους της, γεγονός το οποίο είναι αναμενόμενο.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τις διάφορες τιμές της θερμοκρασίας του νερού θεωρούνται αναμενόμενα και κατά συνέπεια, η λειτουργία της εφαρμογής ορθή.

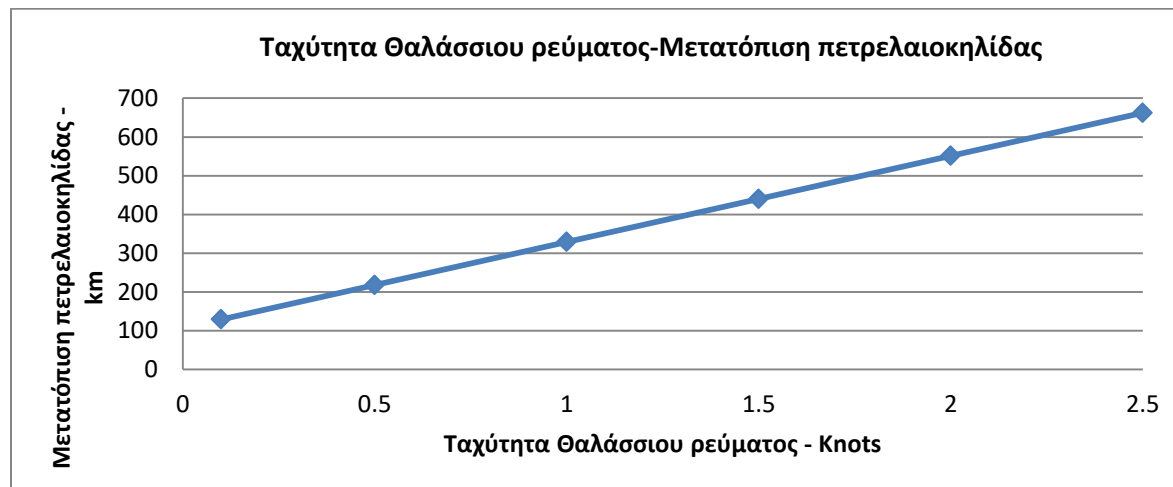
#### 4.2.4 Μεταβολή της ταχύτητας του θαλάσσιου ρεύματος

Στην ενότητα αυτή εξετάζεται η επίδραση της ταχύτητας του θαλάσσιου ρεύματος στα αποτελέσματα της εφαρμογής SpillSolver App. Για το λόγο αυτό εφαρμόστηκαν διαδοχικά σενάρια διαρροής πετρελαίου, στα οποία η ταχύτητα του θαλάσσιου ρεύματος λαμβάνει διάφορες τιμές, εύρους από 0.1 έως 2.5 κόμβους, ενώ όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές της διαρροής παραμένουν σταθερές και λαμβάνουν τις τιμές του πίνακα 4.2.4.1.

Πίνακας 4.2.4.1 : Σταθερές παράμετροι σεναρίων

Τύπος Πετρελαίου:	Nigerian Light
Ταχύτητα Ανέμου:	5 Beaufort
Θερμοκρασία νερού:	12 Celcius
Πυκνότητα νερού:	1025 kg/m <sup>3</sup>
Αλατότητα νερού:	3.50%
Ταχύτητα ρεύματος:	
Όγκος διαρροής:	13000 ton
Διάρκεια διαρροής:	10 Hours

Από τα αποτελέσματα των σεναρίων αυτών παρατηρείται ότι η μόνη τελική ιδιότητα της πετρελαιοκηλίδας η οποία επηρεάζεται είναι η μετατόπιση της επιφάνειάς της, ενώ τα αποτελέσματα των υπόλοιπων διαδικασιών γήρανσης δεν μεταβάλλονται.



Όπως είναι αναμενόμενο από τη μελέτη της μαθηματικής σχέσης της μετατόπισης, παρατηρείται ότι αύξηση της ταχύτητας του θαλάσσιου ρεύματος έχει ως συνέπεια τη γραμμική αύξηση της απόστασης της μετατόπισης της πετρελαιοκηλίδας.

### 4.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στόχος του παρόντος κεφαλαίου ήταν η διαπίστωση της ορθής εφαρμογής των μαθηματικών συναρτήσεων, που περιγράφουν τις διεργασίες γήρανσης, από το SpillSolver App.

Για το λόγω αυτό έγινε ανάλυση ευαισθησίας, εφαρμόζοντας διάφορα διαδοχικά σενάρια διαρροών, στα οποία μεταβάλλεται μόνο μία παράμετρος εισόδου κάθε φορά. Οι παράμετροι εισόδου, των οποίων η επίδραση στα τελικά αποτελέσματα εξετάζεται, είναι ο τύπος του πετρελαίου, η ταχύτητα του ανέμου, η ταχύτητα του θαλάσσιου ρεύματος και η θερμοκρασία της θάλασσας.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την κάθε μία διαφορετική μεταβλητή εισόδου έχουν απόλυτη συνέπεια με τα αναμενόμενα, βάσει των μαθηματικών τύπων που χρησιμοποιεί η εφαρμογή για την πρόβλεψη των διαδικασιών γήρανσης. Κατά συνέπεια η λειτουργία της εφαρμογής κρίνεται αξιόπιστη.

## Κεφάλαιο 5

# Συμπεράσματα και δυνατότητες μελλοντικής επέκτασης της εφαρμογής

### 5.1 Συμπεράσματα

Η πετρελαϊκή ρύπανση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που απειλούν την ισορροπία του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Μετά την διαρροή του στη θάλασσα, το πετρέλαιο επηρεάζεται από μία σειρά φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών οι οποίες αναφέρονται ως γήρανση του πετρελαίου. Οι κυριότερες από αυτές τις διεργασίες είναι η εξάτμιση του πετρελαίου, η διασπορά, η ιζηματοποίηση, η γαλακτωματοποίηση, η μεταβολή του ιξώδους, η μεταβολή της πυκνότητας, η εξάπλωση και η μετατόπιση της πετρελαιοκηλίδας.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε ανάπτυξη της εφαρμογής SpillSolver App, η οποία αποτελεί ουσιαστικά μία αναβάθμιση των υπαρχόντων SpillSolver (Κορρός 2008) και SpillSolver2.0 (Παρίσος 2015). Η εφαρμογή αυτή εξετάζει την συμπεριφορά του πετρελαίου μετά τη διαρροή του στο θαλάσσιο περιβάλλον. Λαμβάνει ως είσοδο τις ιδιότητες του πετρελαίου και τις περιβαλλοντικές συνθήκες και χρησιμοποιώντας μαθηματικές συναρτήσεις εξάγει αποτελέσματα σχετικά με την επίδραση των διαδικασιών γήρανσης.

Για την εξακρίβωση της ορθής λειτουργίας του SpillSolver App, έγινε εφαρμογή διαφορετικών σεναρίων διαρροής πετρελαίου και σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα που προκύπτουν από τα προγράμματα ADIOS 2 και SpillSolver2.0, για τα ίδια σενάρια διαρροής. Από τη σύγκριση αυτή, προκύπτει μεγάλη σύγκλιση μεταξύ του SpillSolver App και των άλλων προγραμμάτων οπότε και η εφαρμογή θεωρείται αξιόπιστη. Προσοχή χρειάζεται σχετικά με τη διεργασία της διασποράς καθώς τα αποτελέσματα των τριών εφαρμογών είχαν απόκλιση μεταξύ τους με συνέπεια το μοντέλο διασποράς να έχει αβεβαιότητα.

Επιπρόσθετα, για περαιτέρω έλεγχο της ορθής λειτουργίας του SpillSolver App, έγινε ανάλυση ευαισθησίας, κατά την οποία εφαρμόσθηκαν διαδοχικά σενάρια διαρροής, στα οποία διαφοροποιείται μόνο μία μεταβλητή εισόδου από σενάριο σε σενάριο. Έτσι διαπιστώνεται η εξάρτηση των τελικών αποτελεσμάτων από τις αρχικές παραμέτρους εισόδου. Από την ανάλυση αυτή προκύπτει ότι η συμπεριφορά της εφαρμογής είναι αξιόπιστη και αναμενόμενη και τα μαθηματικά μοντέλα που ενσωματώνονται σε αυτή εφαρμόζονται ορθά.

Τελικά μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η εφαρμογή SpillSolver App παράγει αξιόπιστα αποτελέσματα τα οποία μας επιτρέπουν να εξετάσουμε σε ικανοποιητικό βαθμό τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά μίας τυχαίας πετρελαιοκηλίδας. Έτσι η εφαρμογή μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την μελέτη, την πρόληψη και την αντιμετώπιση της πετρελαϊκής ρύπανσης του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

## 5.2 Δυνατότητες μελλοντικών επεκτάσεων

Το πρόγραμμα SpillSolver App διαφοροποιείται σε σχέση με τις προϋγούμενες εκδόσεις καθώς χρησιμοποιεί Python αντί για Matlab για τους υπολογισμούς και προσφέρει γραφική απεικόνιση της επιφάνειας της πετρελαιοκηλίδας πάνω σε χάρτη. Ωστόσο επιδέχεται ακόμα πολλών αναβαθμίσεων και προεκτάσεων ώστε τα αποτελέσματα που εξάγει να είναι ακριβέστερα και πληρέστερα.

Αρχικά, μπορούν να γίνουν βελτιώσεις στην δυνατότητα απεικόνισης σε χάρτη που περιλαμβάνει η εφαρμογή μας. Η αναπαράσταση της πετρελαιοκηλίδας, η οποία γίνεται με τη μορφή κυκλικής επιφάνειας, μπορεί να αλλάξει σχήμα και να εμφανίζει μεγαλύτερη ομοιότητα με τις πραγματικές συνθήκες. Επιπλέον, όσον αφορά τον εκβρασμό της πετρελαιοκηλίδας σε ακτή, θα μπορούσαν να γίνουν τροποποιήσεις ώστε η εφαρμογή να αναγνωρίζει τις ακτογραμμές και να μην χρειάζεται καμία επιπλέον παρέμβαση από το χρήστη, όπως απαιτείται τώρα.

Επιπρόσθετα μπορούν να προστεθούν νέα μοντέλα πρόβλεψης της εξέλιξης της διεργασίας της διασποράς του πετρελαίου, της οποίας η αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων είναι σχετικά υψηλή. Τα νέα αυτά μοντέλα σε συνεργασία με το ήδη υπάρχον θα δώσουν την δυνατότητα παραγωγής ακριβέστερων αποτελεσμάτων.

Μπορεί ακόμα να προστεθεί η δυνατότητα υπολογισμών για την εφαρμογή πετρελαιοσυλλεκτών (Skimmers) και άλλων μέσων αντιμετώπισης της ρύπανσης που προκύπτει από την πετρελαιοκηλίδα, ώστε ο χρήστης να έχει μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα του προβλήματος και της ενδεχόμενης εξέλιξης του.

Οι συνθήκες του περιβάλλοντος όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, η ταχύτητα και η κατεύθυνση των θαλάσσιων ρευμάτων, το ύψος κύματος και διάφορα μετεωρολογικά στοιχεία μεταβάλλονται διαρκώς και χωρίς συγκεκριμένο τρόπο. Το πρόγραμμα τις λαμβάνει ως σταθερές παραμέτρους για κάθε μία από τις πέντε μέρες μελέτης. Μπορεί επομένως να προστεθεί η δυνατότητα ορισμού αυτών των παραμέτρων για κάθε μία ώρα μελέτης (ξεχωριστά) ή να ενσωματωθεί στον κώδικα ένα πιθανοθεωρητικό μοντέλο ή ακόμα και να γίνεται λήψη αυτών των δεδομένων απευθείας από το διαδίκτυο κατά τη διάρκεια των υπολογισμών ώστε η αναπαράσταση να είναι πιο λεπτομερής και ακριβής.

Για ακόμα πιο ακριβείς υπολογισμούς θα μπορούσαν να εισαχθούν στην εφαρμογή παράμετροι και μοντέλα που αφορούν τις τοπικές παραμέτρους κάθε περιοχής όπως η ιδιαίτερη γεωμετρία των ακτών και η παρουσία πάγου, η οποία επηρεάζει την γήρανση του πετρελαίου.

Τέλος για μία πιο ρεαλιστική απεικόνιση του κάθε σεναρίου και ένα πιο ακριβή υπολογισμό του ρυθμού διαρροής, μπορεί να γίνει εισαγωγή παραμέτρων που αφορούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής πετρελαίου και του ανοίγματος που δημιουργήθηκε.



## Βιβλιογραφία

- Aravamudan, K. S. , P. K. Ray, and A. D. Little, 1982. Simplified models to predict the break-up of oil on rough seas. Proceedings of the 1981 Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- Aravamudan, K., P. Ray, and G. Marsh, 1981. Simplified models to predict the break-up of oil on rough seas. Proceedings of the 1981 Oil Spill Conference, Publication No.4334, American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- Atlas, M.R. and Hazzen, T.C., (2011). Oil Bioremediation And Biodegradation: A Tale of the Two Worst Spills in U.S. History. Environ Sci. Technol., 45, p 6709-6715
- Atlas, R. M. (1984). Petroleum Microbiology. Macmillan Publishing Company, New York.
- Atlas, R. M., and Cerniglia, C. E. (1995). Bioremediation of Petroleum Pollutants. Bioscience, 45, 332-338.
- Clark, R. C. and Brown, D. W. (1977). Petroleum: properties and analysis in biotic and abiotic systems. In Malins (Ed) Effects of Petroleum on Arctic and Subarctic Environments and Organisms Vol. 1. Nature and Fate of Petroleum. Academic Press, Inc., New York, 1-89
- Fay, J. A., 1969. The spread of oil slicks on a calm sea. in, Oil on the Sea, D. P. Hoult, ed., Plenum Press, pp53-63
- Fay, J. A., 1971. Physical processes in the spread of oil on a water surface. Proceedings of the Joint Conference on the Prevention and Control of Oil Spills, American Petroleum Institute, Washington, D.C., pp463-467
- Fingas F. M., 2003. Modeling evaporation using models that are not boundary-layer regulated. Emergencies Science and Technology Division, Environment Canada, Ottawa, Ontario , Canada
- Fingas et al. (1995). A literature review of the physics and predictive modeling of oil spill evaporation, Journal of Hazardous Materials 42 157-175, pp. 2.
- Huang, J. C. , 1984. A review of the state-of-the-art of oil spill fate/behaviour models. Proceedings of the 1983 Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Washington, D.C. , pp313-337
- Huang, J. C. and F. C. Monastero, 1982. Review of the State-of-the-Art of Oil Spill Simulation Models: Final Report, submitted to the American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- IMO/UNEP: Regional Information System / Part C: Databanks and Information Services / Section 2: Statistical Analysis for Alerts and Accidents Database, REMPEC, 2008
- Kerr, C. and K.Babu, 1979. The collapse of a column of fluid onto a horizontal surface. in, Workshop on the physical Behavior of Oil in the Marine Environment, Princeton University

Lee, R. A., "A study of the surface tension controlled regime of oil spread," M.S. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Jan. 1971.

Lehr et al. (1984), A New Technique to Estimate Initial Spill Size Using a Modified Fay-type Spreading Formula, Marine Pollution Bulletin Vol 1~; No 9 pp ~;26-329, pp.3.

Mackay, D. , I. Bruis, R. Cascahenus, and S. Peterson, 1980. Oil Spill Processes and Models. EPS, R&D Division, Canada

Mackay, D., S. Peterson, and K. Trudel, 1980. A Mathematical Model of Oil Spill Behavior. Environmental Protection Service, Fisheries and Environment Canada

NOAA (1992). Shoreline Countermeasure Manual, National Oceanic & Atmospheric Administration, Seattle, Washington.

NOAA – Office of Response and Restoration. How do spills happen. (2003).

Ventikos, N. P. , 2006. Ship Source Oil Pollution: The Problem, the Synthesis and the Environment, National Technical University of Athens

Wang et al. (2008), Three dimensional numerical simulation for transport of oil spills in seas, Ocean Engineering 35 , 503–510, pp. 4.

Wang, H. , J. R. Campbell, and J. D. Dimars, 1976. Computer Modeling of Oil Drift and Spreading in Delaware Bay. Ocean Engineering Report No.5, Department of Civil Engineering, University of Delaware

Weaver et al. (2004), Characteristics of Spilled Oils, Fuels, and Petroleum Products: 3a. Simulation of Oil Spills and Dispersants Under Conditions of Uncertainty, Ecosystems Research Division National Exposure Research Laboratory Athens, Georgia, pp. 23.

Κοτρίκλα, Άννα-Μαρία (2015), Ναυτιλία και περιβάλλον - Πρώτη έκδοση. - Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2015, Κεφάλαιο 2 : ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

### **Πηγές από διπλωματικές εργασίες**

Κορρός Κωνσταντίνος (2008), Μοντέλο Τύχης/Γήρανσης Κηλίδων Πετρελαίου, Τεύχος Α

Παρίσος Φώτιος(2015), Ανάπτυξη Εργαλείου για την Τύχη Πετρελαιοκηλίδας, Μελέτη και Παραδείγματα

Χαντζηκωνσταντίνου Αρχοντής(2008), Μοντέλο Τύχης/Γήρανσης Κηλίδων Πετρελαίου, Τεύχος Β

## Πηγές από το διαδίκτυο

<http://flask.pocoo.org/>

<http://www.numpy.org/>

<http://www.sciencedirect.com/>

<https://getbootstrap.com>

<https://gis.stackexchange.com/questions/142326/calculating-longitude-length-in-miles>

<https://github.com/>

<https://leafletjs.com/>

<https://response.restoration.noaa.gov>

<https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/response-tools/adios>

<https://www.anaconda.com>

<https://www.chartjs.org/>

<https://www.javascript.com/>

<https://www.noaa.gov>

<https://www.python.org/>

[www.iea.org](http://www.iea.org)

## Παράρτημα Α :

### Γλώσσες προγραμματισμού και βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του SpillSolver App



**Η γλώσσα Python :** (<https://www.python.org/>)

Η Python είναι μια ερμηνευμένη γλώσσα υψηλού επιπέδου γενικής χρήσης . Δημιουργήθηκε από τον Guido van Rossum και κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 1991, η Python έχει μια φιλοσοφία σχεδίασης που δίνει έμφαση στην αναγνωσιμότητα του κώδικα , χρησιμοποιώντας κυρίως ένα σημαντικό κενό . Παρέχει κατασκευές που επιτρέπουν σαφή προγραμματισμό σε μικρές και μεγάλες κλίμακες. Ο Van Rossum οδήγησε τη γλωσσική κοινότητα μέχρι να αποχωρήσει ως ηγέτης τον Ιούλιο του 2018.

Η Python διαθέτει σύστημα δυναμικού τύπου και αυτόματη διαχείριση μνήμης .

Υποστηρίζει πολλαπλά παραδείγματα προγραμματισμού , συμπεριλαμβανομένων των αντικειμενοστρεφών , επιτακτικών , λειτουργικών και διαδικαστικών , και διαθέτει μια μεγάλη και ολοκληρωμένη τυποποιημένη βιβλιοθήκη .

Οι διερμηνείς της Python είναι διαθέσιμοι για πολλά λειτουργικά συστήματα . Η Python χρησιμοποιεί λογισμικό ανοιχτού κώδικα και έχει ένα μοντέλο ανάπτυξης που βασίζεται στην κοινότητα. Αντί να έχει όλες τις λειτουργίες του ενσωματωμένες στον πυρήνα του, σχεδιάστηκε για να είναι εξαιρετικά επεκτάσιμη . Η Python και η CPython διοικούνται από το μη κερδοσκοπικό ίδρυμα Python Software Foundation .

Για την εγκατάσταση και χρήση της Python χρησιμοποιήθηκε το πακέτο **Anaconda**. (<https://www.anaconda.com/>)



Το *Anaconda* είναι μια ελεύθερη και ανοιχτού κώδικα διανομή των γλωσσών προγραμματισμού Python και R για επιστημονικούς υπολογισμούς ( επιστήμη δεδομένων , εφαρμογές μηχανικής μάθησης , επεξεργασία δεδομένων μεγάλης κλίμακας, προγνωστικά αναλύσεων κλπ.), με στόχο την απλοποίηση της διαχείρισης πακέτων και την ανάπτυξη.

Για τη δημιουργία της εφαρμογής μας χρησιμοποιήθηκαν οι εξής βιβλιοθήκες της Python :



**Η βιβλιοθήκη Flask:** (<http://flask.pocoo.org/>)

Το Flask είναι ένα micro web frame (πλαίσιο ιστού) γραμμένο στην Python .

Είναι ταξινομημένο ως microframework επειδή δεν απαιτεί συγκεκριμένα εργαλεία ή βιβλιοθήκες (εκτός από κάποιες βασικές βιβλιοθήκες).

Ένα πλαίσιο ιστού ( Web Frame ) ή ένα πλαίσιο εφαρμογών ιστού ( Web Application Frame ) είναι ένα πλαίσιο λογισμικού που έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει την ανάπτυξη εφαρμογών ιστού, συμπεριλαμβανομένων υπηρεσιών διαδικτύου, πόρων διαδικτύου και API(Application Programming Interface) ιστού . Τα πλαίσια του Web παρέχουν έναν τυπικό τρόπο δημιουργίας και ανάπτυξης εφαρμογών ιστού στον Παγκόσμιο Ιστό . Στοχεύουν στην αυτοματοποίηση των γενικών εξόδων που σχετίζονται με κοινές δραστηριότητες που εκτελούνται στην ανάπτυξη ιστού . Για παράδειγμα, πολλά πλαίσια ιστού παρέχουν βιβλιοθήκες για πρόσβαση σε βάσεις δεδομένων , templating πλαίσια και διαχείριση συνεδριών και συχνά προωθούν την επαναχρησιμοποίηση κώδικα . Παρόλο που συχνά στοχεύουν στην ανάπτυξη δυναμικών δικτυακών τόπων , ισχύουν και για τους στατικούς ιστότοπους .

Το Microframework Flask δημιουργήθηκε από τον Armin Ronacher.

Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν το Flask περιλαμβάνουν τα Pinterest , LinkedIn.



**NumPy**

**Η βιβλιοθήκη Numpy:** (<http://www.numpy.org/>)

Είναι μια βιβλιοθήκη που προσθέτει υποστήριξη για μεγάλες, πολυδιάστατες συστοιχίες και μήτρες (πίνακες), μαζί με μια μεγάλη συλλογή μαθηματικών λειτουργιών υψηλού επιπέδου για να λειτουργούν σε αυτές τις συστοιχίες.

Η χρήση του NumPy σε Python παρέχει λειτουργικότητα συγκρίσιμη με την MATLAB αφού και οι δύο ερμηνεύονται και οι δύο επιτρέπουν στον χρήστη να γράφει γρήγορα προγράμματα εφ 'όσον οι περισσότερες λειτουργίες δουλεύουν σε συστοιχίες ή μήτρες αντί για βαθμίδες . Συγκριτικά, το MATLAB διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό πρόσθετων εργαλείων, κυρίως Simulink , ενώ το NumPy είναι εγγενώς ενσωματωμένο στην Python, μια πιο σύγχρονη και πλήρη γλώσσα προγραμματισμού.

### **Η βιβλιοθήκη Math :**

Η βιβλιοθήκη αυτή επιτρέπει την χρήση (σύνθετων) μαθηματικών συναρτήσεων. Το Math είναι μία βιβλιοθήκη πάντα διαθέσιμη στην Python.



## Η γλώσσα HTML (Hypertext Markup Language):

Η **γλώσσα σήμανσης υπερκειμένου ( HTML )** είναι η τυπική γλώσσα σήμανσης για τη δημιουργία ιστοσελίδων και εφαρμογών ιστού . Με το **Cascading Style Sheets (CSS)** και τη **JavaScript** , αποτελεί μια τριάδα τεχνολογιών ακρογωνιαίου λίθου για τον Παγκόσμιο Ιστό .

Τα προγράμματα περιήγησης Web λαμβάνουν έγγραφα HTML από έναν διακομιστή ιστού ή από τοπικό αποθηκευτικό χώρο και αποδίδουν τα έγγραφα σε ιστοσελίδες πολυμέσων. Το HTML περιγράφει τη δομή μιας ιστοσελίδας σημασιολογικά και αρχικά περιελάμβανε στοιχεία για την εμφάνιση του εγγράφου.

Το HTML παρέχει ένα μέσο για τη δημιουργία δομημένων εγγράφων με την ένδειξη διαρθρωτικής σημασιολογίας για κείμενο όπως επικεφαλίδες, παραγράφους, λίστες, συνδέσμους , εισαγωγικά και άλλα στοιχεία. Τα στοιχεία HTML οριοθετούνται με ετικέτες , γραμμένες με γωνιακές παρενθέσεις .

Το HTML μπορεί να ενσωματώσει προγράμματα γραμμένα σε μια γλώσσα δέσμης ενεργειών όπως JavaScript , η οποία επηρεάζει τη συμπεριφορά και το περιεχόμενο των ιστοσελίδων. Η ένταξη του CSS ορίζει την εμφάνιση και τη διάταξη του περιεχομένου.



## Η γλώσσα Javascript: (<https://www.javascript.com/>)

(Δεν πρέπει να συγχέεται με την Java (γλώσσα προγραμματισμού) , την Java (πλατφόρμα λογισμικού) ή το Javanese script .)

Η JavaScript , το οποίο συχνά συντομογραφείται ως JS , είναι μια γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου που χαρακτηρίζεται ως δυναμική , ασθενώς δακτυλογραφημένη , βασισμένη στο πρωτότυπο και πολυ-παραδειγματική .

Η JavaScript ενεργοποιεί διαδραστικές ιστοσελίδες και συνεπώς αποτελεί ουσιαστικό μέρος των εφαρμογών ιστού . Η συντριπτική πλειοψηφία των ιστότοπων το χρησιμοποιούν, και όλοι οι μεγάλοι φυλλομετρητές ιστού έχουν μια αποκλειστική μηχανή JavaScript για να την εκτελέσουν.

Ως γλώσσα πολλαπλών παραδειγμάτων, η JavaScript υποστηρίζει στυλ προγραμματισμού που βασίζονται σε γεγονότα , λειτουργικά και επιτακτικά (συμπεριλαμβανομένων αντικειμενοστραφών και πρωτότυπων ).

## CSS (Cascading Style Sheets-Διακοσμητικά φύλλα στυλ)

Τα Φύλλα Στυλ Cascading ( CSS ) είναι μια γλώσσα φύλλου στυλ που χρησιμοποιείται για την περιγραφή της παρουσίασης ενός εγγράφου γραμμένο σε μια γλώσσα σήμανσης όπως HTML .

Το CSS έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει τον διαχωρισμό της παρουσίασης και του περιεχομένου, συμπεριλαμβανομένης της διάταξης, των [χρωμάτων](#) και των [γραμματοσειρών](#) . Αυτός ο διαχωρισμός μπορεί να βελτιώσει την [προσβασιμότητα του](#) περιεχομένου, να προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και έλεγχο στις προδιαγραφές των χαρακτηριστικών παρουσίασης, να επιτρέψει σε πολλαπλές [ιστοσελίδες](#) να μοιράζονται μορφοποίηση καθορίζοντας το σχετικό CSS σε ξεχωριστό αρχείο (.css) και μειώνοντας την πολυπλοκότητα και την επανάληψη στο δομικό περιεχόμενο .

Το CSS έχει μια απλή σύνταξη και χρησιμοποιεί μια σειρά αγγλικών λέξεων-κλειδιών για να καθορίσει τα ονόματα των διαφόρων ιδιοτήτων στυλ. Ένα φύλλο στυλ αποτελείται από μια λίστα κανόνων . Κάθε κανόνας ή σύνολο κανόνων αποτελείται από έναν ή περισσότερους επιλογείς και ένα μπλοκ δήλωσης .

### Bootstrap (front-end framework)



(<https://getbootstrap.com/>)

Το Bootstrap είναι ένα ελεύθερο και ανοικτού κώδικα πλαίσιο για την ανάπτυξη ιστοτόπων και εφαρμογών ιστού . Περιέχει πρότυπα σχεδίασης HTML και CSS για τυπογραφία , φόρμες , κουμπιά, πλοήγηση και άλλα στοιχεία διεπαφής, καθώς και προαιρετικές επεκτάσεις JavaScript .

Το Bootstrap υποστηρίζει ευέλικτο σχεδιασμό ιστοσελίδων . Αυτό σημαίνει ότι η διάταξη ιστοσελίδων ρυθμίζεται δυναμικά, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της συσκευής που χρησιμοποιείται (επιφάνεια εργασίας, tablet, κινητό τηλέφωνο).



Η βιβλιοθήκη Leaflet (<https://leafletjs.com/>)

Η βιβλιοθήκη Leaflet είναι μία δωρεάν βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα (Open-Source) γραμμένη σε javascript η οποία επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωση σε οποιαδήποτε εφαρμογή ενός διαδραστικού και ευέλικτου χάρτη.



Chart.js

Η βιβλιοθήκη Chartjs (<https://www.chartjs.org/>)

Η βιβλιοθήκη Chartjs είναι μία δωρεάν βιβλιοθήκη γραμμένη σε javascript, η οποία προσφέρει την χρήση διαδραστικών διαγραμμάτων σε οποιαδήποτε εφαρμογή.



## Παράρτημα Β :

### Μετατροπή Μονάδων

<b>Ταχύτητα Ανέμου</b>			
<b>Beaufort</b>	<b>Description</b>	<b>Wind Speed [m/s] (Limits)</b>	<b>Wind Speed [m/s] (SpillSolver App)</b>
0	Calm	<0.3	0.0
1	Light Air	0.3-1.5	0.97222
2	Light Breeze	1.5-3.3	2.5
3	Gentle Breeze	3.3-5.5	4.30556
4	Moderate Breeze	5.5-8	6.80556
5	Fresh Breeze	8-10.8	9.58333
6	Strong Breeze	10.8-13.9	12.5
7	Moderate/Near Gale	13.9-17.2	15.6944
8	Gale/Fresh Gale	17.2-20.7	19.1667
9	Strong/Severe Gale	20.7-24.5	22.6389
10	Storm, Whole Gale	24.5-28.4	26.3889
11	Violent Storm	28.4-32.6	30.8333
12	Hurricane	>32.6	33.3333

	<b>m/sec</b>	<b>knots</b>	<b>km/hour</b>
1 m/sec =	1	1.94384449	3.6
1 knot =	0.514444	1	1.852
1 km/hour =	0.2777778	0.5399569	1

### Θερμοκρασία

$$T_{CELS} = \frac{5}{9} \cdot (T_{FAR} - 32)$$

$$T_{KELVIN} = T_{CELS} + 273.16$$

### Όγκος

$$1 \text{ barrel} = 0.1589873 \text{ m}^3 = 158.9873 \text{ lt}$$

$$1 \text{ m}^3 = 6.28981077 \text{ barrels} = 1000 \text{ lt}$$

1 μετρικός τόνος = όγκος που καταλαμβάνουν 1000 kg πετρέλαιο

### Παροχή Όγκου

$$1 \text{ lt/sec} = 0.001 \text{ m}^3/\text{sec} = 3.6 \text{ m}^3/\text{hour} = 22.643318772 \text{ bbl/hr}$$

$$1 \text{ bbl/hr} = 0.044163139 \text{ lt/s} = 0.000044163134 \text{ m}^3/\text{s}$$

### Παροχή Μάζας

$$1 \text{ kg/sec} = 3600 \text{ kg/hour} = 3.6 \text{ tn/hour}$$

$$1 \text{ tn/h} = 0.000277777778 \text{ kg/sec}$$

### Ιξώδες

$$1 \text{ m}^2/\text{sec} = 10^4 \text{ Stokes} = 10^6 \text{ cStokes}$$

### Πυκνότητα

$$1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg / lt}$$

### Χιλιόμετρα - Συντεταγμένες

$$\text{Latitude : } 1 \text{ deg} = 110.574 \text{ km}$$

$$\text{Longitude : } 1 \text{ deg} = 111.320 * \cos(\text{latitude}) \text{ km}$$