



**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ»**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΜΕ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ:**

*«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΤΑΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΡΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ»*

Επιμέλεια: Ζαφείρης Ιωάννης

Επιβλέπων Καθηγητής: Χ. Κυρανούδης

Φεβρουάριος 2017

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, εστίασαμε στην «Ανάπτυξη Μεταεureτικού Αλγορίθμου» για οχήματα Μεταφοράς Επικίνδυνων Φορτίων, για δεδομένες διαδρομές στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η Μεταφορά Επικίνδυνων Φορτίων ενέχει πολλούς κινδύνους, ανάλογα με το είδος και την ποσότητα των μεταφερόμενων ουσιών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Επικίνδυνο υλικό (hazmat) χαρακτηρίζεται κάθε υλικό το οποίο μπορεί να προκαλέσει βλάβες στον άνθρωπο, σε περιουσία (δημόσια ή ιδιωτική) ή το περιβάλλον. Σε αυτά περιλαμβάνονται οι κάτωθι κατηγορίες:

1. Εκρηκτικά και Πυροτεχνήματα,
2. Αέρια,
3. Εύφλεκτα και Υγρά Καύσιμα,
4. Εύφλεκτα- καύσιμα και Επικίνδυνα- στερεά,
5. Οξειδωτικά και Οργανικά Υπεροξειδία,
6. Τοξικές και Μολυσματικές Ουσίες,
7. Ραδιενεργά Υλικά,
8. Διαβρωτικά Υλικά, (οξέα ή βάσεις),
9. Επικίνδυνα για το περιβάλλον Απόβλητα.

Ο διαχωρισμός είναι σύμφωνος με την Διεθνή/Ευρωπαϊκή Νομοθεσία DGSA/ADR (European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road), η οποία καθορίζει επακριβώς τόσο τις διαδικασίες μεταφοράς, όσο και τις διαδικασίες εκφορτώσεων επικίνδυνων υλικών και πρέπει να τηρούνται αυστηρά από τις αρμόδιες εταιρίες. Υπεύθυνος εφαρμογής και εναρμόνισης με τους κανονισμούς είναι ο ΣΑΜΕΕ (Σύμβουλος Μεταφοράς Επικίνδυνων Εμπορευμάτων-DGSA), ο οποίος οφείλει να συμμορφώνεται με την ισχύουσα νομοθεσία και να ελέγχει τους κινδύνους κατά την μεταφορά των επικίνδυνων προϊόντων.

Η μεταφορά επικίνδυνων προϊόντων είναι ένα σημαντικό πρόβλημα στις σύγχρονες βιομηχανοποιημένες κοινωνίες. Για τα περισσότερα μέλη αυτών των κοινωνιών, η ζωή χωρίς επικίνδυνα υλικά είναι αδιανόητη. Δυστυχώς, η πλειονότητα των επικίνδυνων υλικών δεν χρησιμοποιείται στο σημείο παραγωγής τους με αποτέλεσμα, να απαιτείται η μεταφορά τους σε μεγάλε αποστάσεις. Για παράδειγμα, υπολογίζεται ότι 250.000 με 500.000 επικίνδυνες μεταφορές λαμβάνουν χώρα στις Ηνωμένες πολιτείες κάθε μέρα, συνοψίζοντας ετήσιο όγκο μεταφοράς μεταξύ 1,5 κι 4,0 δισεκατομμυρίων τόνων επικίνδυνων υλικών. Για να βάλουμε αυτόν τον αριθμό σε μια προοπτική, σύμφωνα με την Αμερικανική Υπηρεσία Εμπορίου, χονδρικά κάθε 5^ο φορτηγό στους αυτοκινητοδρόμους της Αμερικής μεταφέρει επικίνδυνα υλικά.

Η πηγή των επικίνδυνων υλικών μπορεί να είναι βιομηχανικά και χημικά εργοστάσια, διυλιστήρια πετρελαίου, καθώς και ιατρικοί σταθμοί, όπως νοσοκομεία και κλινικές. Μερικά πιθανά ατυχήματα/δυστυχήματα τα οποία υπαγορεύουν κίνδυνο στον άνθρωπο μπορεί να είναι μια έκρηξη σε εγκαταστάσεις αποθήκευσης ή διεργασιών, διαρροή από

επικίνδυνο φορτίο σε κοντέινερ απευθείας στην ατμόσφαιρα, έκρηξη ή διαρροή εξαιτίας τροχαίου ατυχήματος με εμπλεκόμενο το όχημα μεταφοράς επικίνδυνων υλικών. Συνεπώς, τέτοιου είδους ατυχήματα θα μπορούσαν να έχουν καταστροφικές συνέπειες. Ως εκ τούτου, μεταφορά τέτοιου είδους υλικών οφείλεται να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή.

Αυτό που διαφοροποιεί τις αποστολές επικίνδυνων φορτίων από αυτές των υπολοίπων υλικών είναι ο κίνδυνος (risk), που σχετίζεται με την απελευθέρωση αυτών εξαιτίας ατυχήματος κατά την διάρκεια της μεταφοράς. Τα hazmat μπορεί να είναι εξαιρετικά επικίνδυνα για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, καθώς η έκθεση στα τοξικά χημικά συστατικά μπορεί να οδηγήσει στον τραυματισμό ή το θάνατο φυτών, ζώων και ανθρώπων. Ο κίνδυνος (risk) αναγνωρίζεται από την κοινωνία και σε πολλές περιπτώσεις αυστηρές νομοθεσίες διέπουν αυτές τις μεταφορές. Γενικά, οι μεταφορές hazmat έχουν καλύτερο μητρώο ατυχημάτων σε σχέση με μεταφορές άλλων υλικών. Παρ' όλα αυτά, ακόμα και αν είναι σπάνια η εμφάνιση τους, δυστυχήματα συμβαίνουν κατά την διάρκεια αυτού του είδους των μεταφορών. Για παράδειγμα, το 1979 στο Οντάριο του Καναδά διαρροή χλωρίου επέφερε την εκκένωση περιοχής 200.000 κατοίκων. Επίσης, σε ένα ιδιαίτερος φρικτό δυστύχημα σε τούνελ του Αφγανιστάν το 1982, 2.700 θάνατοι καταγράφηκαν από έκρηξη φορτίου βενζίνης.

Στην βιβλιογραφία υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός μελετών, οι οποίες ασχολούνται με μεθόδους μέτρησης, κυρίως σε αυτοκινητοδρόμους, του κινδύνου μεταφοράς επικίνδυνων προϊόντων. Ωστόσο, ένας μικρός αριθμός αυτών ασχολούνται με το ρίσκο των σιδηροδρομικών μεταφορών. Στην παρούσα μελέτη υιοθετήθηκε το μοντέλο ρίσκου από τον Erhan Erkut et al (1998), ο οποίος μοντελοποίησε το πρόβλημα μεταφοράς σε μια δημοφιλή περιοχή εφαρμογών, γνωστή ως OR. Αξιοσημείωτο είναι ότι τα περισσότερα μοντέλα σχεδίασης έχουν ως κύριο αντικείμενο την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς από την αρχική θέση στον τελικό προορισμό μέσα από ένα δίκτυο πόλεων. Η εισαγωγή βέβαια της έννοιας 'ρίσκο μεταφοράς' για τα hazmat κάνει τα προβλήματα αυτά πιο πολύπλοκα (και πιο ενδιαφέροντα).

Λόγω της φύσης των προϊόντων που μεταφέρονται, το κοινωνικό ρίσκο θα έπρεπε να θεωρείται ως το μέτρο απόδοσης του συνολικού κόστους μεταφοράς. Για τον λόγο αυτό, το πρόβλημα αυτό έχει πολύπλοκα και πιθανά αντιμαχόμενα αντικείμενα και η προτεραιότητα των μέτρων απόδοσης θα έπρεπε να διαφέρει μεταξύ των προοπτικών επίλυσης. Ως εκ τούτου, σκοπός της εργασίας είναι να θίξει και να συγκρίνει με την χρήση μεταερευτικού αλγορίθμου το ρίσκο που εμπεριέχεται στις μεταφορές επικίνδυνων φορτίων σε αντιδιαστολή με την βέλτιστη διαδρομή κόστους αυτής, - υπολογίζεται σύμφωνα με το επιλεγμένο μοντέλο το ρίσκο, δεδομένου δένδροδιαγράμματος διαδρομών σε αυτοκινητοδρόμους των ΗΠΑ, εξάγονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα και αναλύονται τα συμπεράσματα.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύονται, η Νομοθεσία ADR που διέπει τις χερσαίες μεταφορές, καθώς και η χρήση των μεταερευτικών αλγορίθμων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....ΣΕΛΙΔΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	02
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	02
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	05
2.1 ΜΕΤΑΕΥΡΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ.....	05
2.2 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ADR.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	15
ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	17
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	17
4.1 ΔΙΑΤΡΟΠΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	22
5.1 ΡΙΣΚΟ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ.....	23
5.2 ΑΚΡΟ ΚΙΝΔΥΝΟΥ (EDGE RISK).....	24
5.3 ΡΙΣΚΟ ΜΟΝΟΠΑΤΙΟΥ.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	31
ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ...31	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	37
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	38
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	39
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ADR & ΜΕΤΑΥΡΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

2.1 ΜΕΤΑΥΡΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Η έννοια των αλγορίθμων συνυπάρχει πολύ πριν την εμφάνιση των μοντέρνων υπολογιστικών συστημάτων. Στην πραγματικότητα, ο άνθρωπος ξεκίνησε τη χρήση και την ανάπτυξη τους ταυτόχρονα με την συστηματική επίλυση προβλημάτων που κάθε φορά αντιμετώπιζε. Παρά ταύτα, μετά την εισαγωγή των μοντέρνων υπολογιστικών συστημάτων στα μέσα του περασμένου αιώνα, έγινε πολύ δημοφιλής η αναφορά τω αλγορίθμων σαν προγράμματα Η/Υ. Έτσι σήμερα, σαν αλγορίθμους χαρακτηρίζουμε την περιγραφή υψηλού επιπέδου ενός προγράμματος Η/Υ, που είναι με τη σειρά της μια βήμα-προς-βήμα προδιαγραφή της διαδικασίας επίλυσης ενός συγκεκριμένου προβλήματος. Κάθε βήμα ενός αλγορίθμου αποτελείται από ένα πεπερασμένο αριθμό λειτουργιών, οι οποίες γενικά περιλαμβάνουν αριθμητικές πράξεις, λογικές συγκρίσεις, διαδικασίες ελέγχου και λειτουργίες αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων από τη μνήμη και τις περιφερειακές μονάδες του Η/Υ.

Ας υποθέσουμε ότι ο αλγόριθμος A χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος Q. Είναι πολύ λογικό να υποθέσουμε ότι για κάποια σειρά από υποδείγματα μεγάλου μεγέθους, ο αλγόριθμος A θα χρειαστεί για την επίλυση του προβλήματος σημαντικό υπολογιστικό χρόνο. Πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι στη γενικότερη περίπτωση το μέγεθος ενός αντικείμενου, όπως αυτό του υποδείγματος ενός προβλήματος αριστοποίησης, είναι κάτι που δεν μπορεί να οριστεί μονοσήμαντα και σε όλες τις περιπτώσεις είναι συνάρτηση του τρόπου με τον οποίο το συγκεκριμένο αντικείμενο έχει αποθηκευτεί στη μνήμη του Η/Υ. Στην γενικότερη περίπτωση, σαν μέγεθος ενός αντικείμενου μπορεί να θεωρήσει κάποιος την έκταση που καταλαμβάνει στον αποθηκευτικό χώρο του Η/Υ. Έτσι, η αποτίμηση της απόδοσης του αλγορίθμου A που χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος θα εξεταστεί σε όρους μεγέθους του υποδείγματος του προβλήματος αυτού.

Είναι γενικά δύσκολο και αδόκιμο το να χρησιμοποιηθεί για την αποτίμηση της απόδοσης ενός αλγορίθμου ο ακριβής αριθμός των βασικών λειτουργιών που ο αλγόριθμος εκτελεί στην προσπάθειά του να βρει την βέλτιστη λύση ενός προβλήματος αριστοποίησης. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι γι' αυτό. Η ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών των γλωσσών προγραμματισμού και των μεταφραστών τους σε εκτελέσιμο κώδικα είναι ένας σημαντικός λόγος. Η διαφορετική συμπεριφορά ως προς τον τύπο των δεδομένων σε κάθε μια από τις βασικές λειτουργίες του κώδικα που θα χρησιμοποιηθεί είναι άλλος. Στην γενικότερη περίπτωση, είναι αρκετή μια κατά προσεγγιστική περιγραφή της πολυπλοκότητας, δηλαδή των απαιτούμενων υπολογιστικών πόρων για την εκτέλεση του αλγορίθμου, που να είναι όμως κοινός για τον τρόπο περιγραφής όλων των αλγορίθμων.

Είναι καθιερωμένο σήμερα στην επιστήμη των Η/Υ η χρήση ασυμπτωτικών ορίων (φραγμάτων) για την μέτρηση των υπολογιστικών πόρων που είναι απαραίτητη σε κάποιον αλγόριθμο που επιλύει κάποιο υπολογιστικό πρόβλημα. Δεδομένης μιας

συνάρτησης $t(n)$ που απεικονίζει ακεραίους σε πραγματικούς αριθμούς, η χρήση των παρακάτω συμβόλων είναι ουσιαστική για την ανάλυση ασυμπτωτικών ορίων της πολυπλοκότητας αλγορίθμων για την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων:

- $O(t(n))$: η κλάση των συναρτήσεων που είναι τέτοιες ώστε για μια συνάρτηση g , πάντα να υπάρχει κάποιος σταθερός αριθμός C_g έτσι ώστε $t(n) \geq C_g g(n)$ για όλες τις πεπερασμένες τιμές του n . Στην περίπτωση αυτή, η κλάση $O(t(n))$ είναι όλες οι συναρτήσεις που είναι το πολύ όσο και οι συναρτήσεις $t(n)$.
- $o(t(n))$: η κλάση των συναρτήσεων που είναι τέτοιες ώστε για μια συνάρτηση g από αυτές, να ισχύει $\lim g(n)/t(n) = 0$ ($n \rightarrow \infty$), για όλες τις πεπερασμένες τιμές του n . Στην περίπτωση αυτή, η κλάση $o(t(n))$ είναι όλες οι συναρτήσεις που είναι μικρότερες των συναρτήσεων $t(n)$.
- $\Omega(t(n))$: Η κλάση των συναρτήσεων που είναι τέτοιες ώστε για μια συνάρτηση g από αυτές, πάντα να υπάρχει κάποιος αριθμός C_g έτσι ώστε $t(n) \leq C_g g(n)$ για όλες τις πεπερασμένες τιμές του n . Στην περίπτωση αυτή, η κλάση $\Omega(t(n))$ είναι όλες οι συναρτήσεις που είναι τουλάχιστον όσο και οι συναρτήσεις $t(n)$.
- $\omega(t(n))$: η κλάση των συναρτήσεων που είναι τέτοιες ώστε για μια συνάρτηση g από αυτές, να ισχύει $\lim g(n)/t(n) = 0$ ($n \rightarrow \infty$), για όλες τις πεπερασμένες τιμές του n . Στην περίπτωση αυτή, η κλάση $\omega(t(n))$ είναι όλες οι συναρτήσεις που είναι μεγαλύτερες των συναρτήσεων $t(n)$.
- $\Theta(t(n))$: η κλάση των συναρτήσεων που είναι τέτοιες ώστε για μια συνάρτηση g από αυτές, να ισχύει $g(n) = O(t(n))$ και $g(n) = \Omega(t(n))$, για όλες τις πεπερασμένες τιμές του n . Στην περίπτωση αυτή, η κλάση $\theta(t(n))$ είναι όλες οι συναρτήσεις που είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με τις συναρτήσεις $t(n)$.

Ο χρόνος εκτέλεσης ενός αλγορίθμου για δεδομένο υπόδειγμα συγκεκριμένου προβλήματος ορίζεται σαν ο αριθμός των βασικών λειτουργιών που διεξάγονται κατά την διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου για το συγκεκριμένο υπόδειγμα.

Έστω ένας αλγόριθμος A ο οποίος λύνει ένα πρόβλημα αριστοποίησης Q και έστω $f(n)$ μια συνάρτηση. Η χρονική πολυπλοκότητα του αλγορίθμου A είναι $O(f(n))$ εάν υπάρχει μια συνάρτηση $g(n) \in O(t, n)$ τέτοιο ώστε για κάθε $n \geq 0$, ο χρόνος εκτέλεσης του A να περιορίζεται από την $g(n)$ για όλες τις δυνατές τιμές του n .

Ένας αλγόριθμος A είναι πολυωνυμικού χρόνου εάν υπάρχει μια σταθερά C τέτοια ώστε η χρονική πολυπλοκότητα του αλγορίθμου A να είναι $O(n^c)$. Ένα πρόβλημα αριστοποίησης μπορεί να λυθεί σε πολυωνυμικό χρόνο αν υπάρχει αλγόριθμος πολυωνυμικού χρόνου που μπορεί να το επιλύσει.

Οι αλγόριθμοι πολυωνυμικού χρόνου θεωρούνται εύκολες και εφικτές διαδικασίες. Η διαφορά της απόδοσης των πολυωνυμικών αλγορίθμων σε σχέση με αυτούς εκθετικής πολυπλοκότητας δίδεται στα δεδομένα των πινάκων I και II .

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι: Υπολογιστικοί χρόνοι προβλημάτων πολυωνυμικής και εκθετικής πολυπλοκότητας

ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ	10	20	30	40	50
$O(n)$	0.00001s	0.00002s	0.00003s	0.00004s	0.00005s
$O(n^2)$	0.0001s	0.0004s	0.0009s	0.0016	0.0025s
$O(n^3)$	0.001s	0.008s	0.027s	0.064	0.125s
$O(2^n)$	0.001s	1s	17.9min	12.7days	35.7years

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ: Επίδραση αύξησης υπολογιστικής δύναμης (μέγεθος προβλήματος που μπορεί να επιλυθεί σε 1h)

n	Σημερινή Ισχύς	100πλάσια Ισχύς	1000πλάσια Ισχύς
$O(n)$	N1	100N1	1000N1
$O(n^2)$	N2	10N2	31.6N2
$O(n^3)$	N3	4.64N3	10N3
$O(2^n)$	N4	N4+6.64	N4+9.97

Στην γενικότερη περίπτωση, δεδομένου κάποιου προβλήματος αριστοποίησης, ο εντοπισμός κάποιου αλγορίθμου πολυωνυμικού χρόνου για την επίλυση του είναι πολύ σημαντική διαδικασία.

Οι ευρετικοί αλγόριθμοι παρά το γεγονός ότι κατάφεραν να μειώσουν σημαντικά τον υπολογιστικό χρόνο επίλυσης των προβλημάτων διακριτής βελτιστοποίησης, παρουσιάζουν δυο βασικά μειονεκτήματα. Το πρώτο και βασικότερο είναι ότι δεν καταφέρνουν να εξάγουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Συνήθως εγκλωβίζονται σε τοπικά ελάχιστα και τερματίζονται. Επομένως, οι λύσεις που παράγουν σπανίως είναι υψηλής ποιότητας. Το δεύτερο μειονέκτημα αυτών των αλγορίθμων είναι ότι δεν έχουν γενική εφαρμογή στα προβλήματα διακριτής βελτιστοποίησης, διότι κατασκευάζονται βάσει των ειδικών περιορισμών του κάθε προβλήματος. Οι ευρετικοί αλγόριθμοι δεν έχουν γενικές αρχές οι οποίες να εφαρμόζονται σε όλα τα προβλήματα του χώρου της διακριτής βελτιστοποίησης. Κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιλύουν ένα συγκεκριμένο πρόβλημα ή μια ομάδα προβλημάτων.

Τα τελευταία χρόνια ένας νέος τύπος αλγορίθμων έχει γεννηθεί, ο οποίος επιχειρεί να συνδυάσει τις βασικές ευρετικές μεθόδους, εντός ενός υψηλού επιπέδου πλαισίου λειτουργία, με σκοπό την εξερεύνηση του χώρου των λύσεων. Το συγκεκριμένο πλαίσιο λειτουργίας περιλαμβάνει στρατηγικές οι οποίες επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται μια δυναμική ισορροπία ανάμεσα στην εκμετάλλευση της συσσωρευμένης εμπειρίας της έρευνας και της εξερεύνησης του χώρου λύσεων. Αυτή η ισορροπία είναι απαραίτητη από τη μια μεριά για τον άμεσο προσδιορισμό του χώρου λύσεων με τις υψηλής ποιότητας λύσεις και από την άλλη για την αποφυγή της κατανάλωσης υπολογιστικού χρόνου σε περιοχές του χώρου λύσεων, οι οποίες είτε έχουν ήδη εξερευνηθεί ή δεν παρέχουν υψηλής ποιότητας λύσεις. Οι αλγόριθμοι αυτοί ονομάστηκαν μεταευρετικοί αλγόριθμοι ή μοντέρνοι ευρετικοί ή απλά μεταευρετικοί.

Ο όρος μεταευρετικός επινοήθηκε για να περιγράψει «μια ανώτερη στρατηγική η οποία καθοδηγεί και τροποποιεί άλλους ευρετικούς στο να παράγουν λύσεις πέρα από αυτές που παράγονται κατά την έρευνα της ευνοϊκότερης «τοπικής συνθήκης». Ωστόσο, μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει ένας κοινά αποδεκτός ορισμός για τον όρο μεταευρετικός. Ένας μεταευρετικός αλγόριθμος αποτελεί μια ευφυή διαδικασία επαναληπτικής βελτίωσης η οποία χρησιμοποιεί μη-εξαρτημένους από το εξεταζόμενο πρόβλημα μηχανισμούς καθοδήγησης υποδεέστερων ευρετικών, με σκοπό την επίτευξη ευρωστίας, της ισορροπίας δηλαδή ανάμεσα στην ικανότητα παραγωγής υψηλής ποιότητας λύσεων σε συγκεκριμένα προβλήματα από τη μια μεριά και στην ευελιξία που απαιτείται για την επιβίωση σε πολλά διαφορετικά περιβάλλοντα από την άλλη. Οι υποδεέστεροι ευρετικοί μπορεί να είναι υψηλού επιπέδου διαδικασίες (ευφυείς κανόνες και στρατηγικές έρευνας της γειτονιάς, δομές μνήμης, συνδυασμός λύσεων), ή μια απλή τοπική έρευνα ή απλά μια μέθοδος κατασκευής.

Γενικά, κάθε μεταευρετικός σχεδιάζεται με σκοπό την αποδοτική και αποτελεσματική εξερεύνηση του χώρου λύσεων. Η έρευνα που διεξάγεται από ένα μεταευρετικό πρέπει να είναι αρκετά ευφυής ώστε να εντατικοποιείται αφενός στις περιοχές με υψηλής ποιότητας λύσεις, μηχανισμός που καλείται εντατικοποίηση και αφετέρου να μετακινείται σε ανεξερεύνητες περιοχές του χώρου λύσεων όταν κρίνεται απαραίτητο, μηχανισμός που καλείται διαφοροποίηση. Οι μηχανισμοί της εντατικοποίησης και διαφοροποίησης των μεταευρετικών είναι δυνατόν να διαχωριστούν στους εγγενείς και στους στρατηγικούς μηχανισμούς. Οι εγγενείς μηχανισμοί εντατικοποίησης (διαφοροποίησης) προκύπτουν από την φυσική συμπεριφορά κάθε αλγορίθμου. Αντιθέτως, οι στρατηγικοί μηχανισμοί εντατικοποίησης (διαφοροποίησης) είναι αποτέλεσμα τεχνικών και στρατηγικών που ο σχεδιαστής του αλγορίθμου προσθέτει στην διαδικασία με σκοπό τη βελτίωση της γενικής επίδοσης. Αυτές οι στρατηγικές μπορούν να εφαρμοστούν σε όλους σχεδόν τους μεταευρετικούς αλγορίθμους και πολλές από αυτές αν και αρχικά σχεδιάστηκαν για κάποιο συγκεκριμένο αλγόριθμο, μπορεί να είναι το ίδιο χρήσιμες και σε άλλους μεταευρετικούς. Μια βασική παρατήρηση είναι ότι οι μηχανισμοί της εγγενούς εντατικοποίησης και διαφοροποίησης δρουν ταυτοχρόνως, ενώ οι αντίστοιχοι στρατηγικοί μηχανισμοί εναλλάσσονται (διαδέχεται ο ένας τον άλλον).

Οι μεταευρετικοί κατηγοριοποιούνται κυρίως βάσει του τρόπου που διεξάγουν την έρευνα εντός του χώρου λύσεων. Υπάρχουν οι μεταευρετικοί που χειρίζονται ένα πληθυσμό λύσεων κάθε στιγμή και ονομάζονται μέθοδοι βασιζόμενοι σε πληθυσμό, καθώς και αυτοί που χειρίζονται μια και μοναδική λύση κάθε στιγμή και ονομάζονται τροχιάς.

Οι μέθοδοι τροχιάς περιλαμβάνουν τους μεταευρετικούς που βασίζονται στην τοπική έρευνα και είναι δυνατόν να χαρακτηριστούν ως «ευφυείς» προεκτάσεις των κλασικών αλγορίθμων τοπικής έρευνας. Ο στόχος τους είναι να ξεφεύγουν από χαμηλής ποιότητας τοπικά ελάχιστα ώστε να συνεχίζουν την εξερεύνηση του χώρου λύσεων, ελπίζοντας στην εύρεση υψηλότερης ποιότητας τοπικών ελαχίστων. Η ονομασία των συγκεκριμένων μεταευρετικών προέρχεται από το γεγονός ότι η διαδικασία της έρευνας που διεξάγουν απεικονίζεται από μια τροχιά εντός του χώρου λύσεων. Συγκεκριμένα, η διαδικασία της έρευνας των μεθόδων αυτής της κατηγορίας μπορεί να θεωρηθεί ως η εξέλιξη σε διακριτό χρόνο ενός διακριτού δυναμικού

συστήματος. Ο αλγόριθμος ξεκινά από μια αρχική κατάσταση (αρχική λύση) και διαγράφει μια τροχιά εντός του χώρου των καταστάσεων. Η δυναμική του συστήματος εξαρτάται από την στρατηγική που χρησιμοποιείται: οι απλοί αλγόριθμοι παράγουν μια τροχιά η οποία αποτελείται από δυο φάσεις, τη φάση της μεταβατικής κατάστασης και τη φάση της έλξης, η οποία έπεται της μεταβατικής κατάστασης. Η φάση της έλξης ενδέχεται να εκφράζεται από ένα σταθερό σημείο, ένα κύκλο ή ένα σύνθετο ελκυστή. Οι αλγόριθμοι με ιδιαίτερα πολύπλοκες στρατηγικές παράγουν περισσότερο περίπλοκες τροχιές που δεν είναι δυνατό να διαιρεθούν στις προαναφερθέντες φάσεις. Τα χαρακτηριστικά της τροχιάς σκιαγραφούν την συμπεριφορά του αλγορίθμου και την αποδοτικότητα του σε σχέση βέβαια με το υπόδειγμα που εξετάζεται. Υπογραμμίζεται ότι η δυναμική είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού του αλγορίθμου, της αναπαράστασης του προβλήματος και του υποδείγματος.

Όσον αναφορά τις μεθόδους που βασίζονται σε πληθυσμό, αυτές διαχειρίζονται επιδέξια σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου ένα σύνολο λύσεων ή ένα πληθυσμό λύσεων όπως χαρακτηριστικά καλείται, παρά μια και μοναδική λύση όπως στην περίπτωση των μεθόδων τροχιάς. Στην περίπτωση των μεθόδων που βασίζονται σε πληθυσμό, η διαδικασία τα έρευνας περιγράφει την εξέλιξη ενός συνόλου σημείων εντός του χώρου λύσεων και η τελική επίδοση τους εξαρτάται ιδιαίτερα από τον τρόπο που χρησιμοποιείται ο πληθυσμός από την κάθε μέθοδο.

Ένας μεταερευνητικός αλγόριθμος διαφοροποιείται από ένα κλασσικό ευρετικό εξαιτίας του τρόπου που διεξάγει την έρευνα εντός του χώρου λύσεων: εφαρμόζει μηχανισμούς εντατικοποίησης και διαφοροποίησης κατευθύνοντας την έρευνα με τρόπο ιδιαίτερος ευφυή ώστε να αποφεύγει την πρόωρη παγίδευση της σε χαμηλής ποιότητας τοπικά ελάχιστα. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της λειτουργίας των μεταερευνητικών είναι τα ακόλουθα:

- ❖ Αποδοχή ακόμα και λύσεων που οδηγούν στην υποβάθμιση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης με σκοπό την αποφυγή χαμηλής ποιότητας τοπικών ελαχίστων.
- ❖ Αξιοποίηση του ιστορικού της πορείας της έρευνας για την παραγωγή νέων λύσεων. Η συγκεκριμένη στρατηγική προσδίδει στους μεταερευνητικούς κάποια μορφή τεχνητής νοημοσύνης καθώς μαθαίνουν να λειτουργούν υιοθετώντας χαρακτηριστικά που προκαλούν την ανθρώπινη ευφυΐα. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η γνώση και η μνήμη. Η μνήμη ορίζεται ως το αλγοριθμικό συστατικό μέσα στο οποίο αποθηκεύονται δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται από τον αλγόριθμο για την απόκτηση γνώσης. Τα αποθηκευμένα δεδομένα μπορεί να είναι ολόκληρες λύσεις ή χαρακτηριστικά λύσεων. Η γνώση που αποκτάται λόγω της πληροφορίας που παρέχεται από τα δεδομένα αξιοποιείται από το μεταερευνητικό για να ερευνήσει ποιοτικότερα τον χώρο λύσεων. Οι μεταερευνητικοί αλγόριθμοι όπως ακριβώς και ο άνθρωπος χρησιμοποιούν είτε την έκδηλη μνήμη είτε την υπόδηλη μνήμη. Στην περίπτωση του ανθρώπου, η έκδηλη μνήμη είναι η μνήμη που χρειάζεται για να ανακτήσει συνειδητά μια προηγούμενη εμπειρία. Ομοίως, η έκδηλη μνήμη χρησιμοποιείται από τους μεταερευνητικούς για να παρέχει πληροφορίες σχετικά με το ιστορικό της έρευνας που έχει διεξαχθεί και τις οποίες θα αξιοποιήσουν συνειδητά για να κατευθύνουν καταλλήλως την τρέχουσα

τροχιά της έρευνας εντός του χώρου λύσεων. Σε αντίθεση με την έκδηλη μνήμη, ο ρόλος της υπόδηλης μνήμης τόσο στην περίπτωση του ανθρώπου όσο και στην περίπτωση των μεταερευτικών αλγορίθμων είναι να παρέχει πληροφορίες χωρίς αυτές να έχουν ζητηθεί από αυτούς με συνειδητό τρόπο. Αυτό ενδέχεται να προκαλεί στον άνθρωπο ταχύτερη διεκπεραίωση μιας αποστολής λόγω προηγούμενης εμπειρίας, ενώ στους μεταερευτικούς αλγορίθμους έχει ως αποτέλεσμα τον αποτελεσματικότερο συνδυασμό του πληθυσμού.

- ❖ Αποδοχή μη εφικτών λύσεων ως συνέπεια της ξαφνικής μεταφοράς της έρευνας σε περιοχές που έχουν παραμείνει πιθανώς τελείως ανεξερεύνητες κατά την διάρκεια της έρευνας στο χώρο λύσεων. Η αποδοχή μη εφικτών λύσεων οφείλεται στην «χαλάρωση» που πιθανόν υφίστανται οι περιορισμοί του υπό εξέταση προβλήματος. Δίνοντας μια παραστατικότερη εξήγηση της συγκεκριμένης συμπεριφοράς, θα μπορούσαμε να πούμε ότι στην περίπτωση που οι εφικτές λύσεις πρέπει να ικανοποιήσουν ένα σύνολο περιορισμών αυτοί εμφανίζονται σαν απέραντα βουνά. Χαλαρώνοντας τους περιορισμούς αντιστοιχεί σε μείωση του ύψους του βουνού. Την ίδια στιγμή ορίζεται ένα πρόστιμο για την παραβίαση των συγκεκριμένων περιορισμών, το οποίο θα αυξάνει βαθμιαίως σε κάθε παραβίαση ώστε η μη-εφικτότητα των αποδεκτών λύσεων να μην συνεχιστεί επ' αόριστο.
- ❖ Χρήση μη-εξαρτημένων από το υπό εξέταση πρόβλημα στρατηγικών έρευνας, γεγονός που τους δίνει τη δυνατότητα να αναπτύσσονται και να παράγουν βέλτιστες ή πολύ κοντά σε αυτές λύσεις ακόμα και στην περίπτωση που συστατικές ιδιότητες του υπό εξέταση προβλήματος δεν είναι γνωστές. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό δεν παρατηρείται στην περίπτωση των ευρετικών αλγορίθμων, των οποίων η αποδοτικότητα εξαρτάται από το βαθμό «ενσωμάτωσης» του υπό εξέτασης προβλήματος στο μηχανισμό του κλασσικού ευρετικού.

Ως γενικό χαρακτηριστικό των μεταερευτικών αναφέρεται η χρησιμοποίηση παραμέτρων, για λόγους ελέγχου της έρευνας που διεξάγεται εντός του χώρου λύσεων, οι οποίες είναι ανάγκη να ρυθμιστούν καταλλήλως πριν κάθε μεταερευτικός ξεκινήσει να λειτουργεί.

Τέλος, άλλες περιοχές ανάπτυξης αλγορίθμων είναι:

1. Η Στοχαστική έρευνα,
2. Η Προσαρμοστική, ημι-πλεονεκτική έρευνα,
3. Η Απαγορευμένη έρευνα,
4. Η Γενετική έρευνα,
5. Η Διασκορπισμένη έρευνα,
6. Οι Αλγόριθμοι Αποικίας Μυρμηγκιών.

2.2 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ADR

Στο παρόν κεφάλαιο θα θίξουμε το καθεστώς στο οποίο υπόκεινται όλες οι μεταφορές επικίνδυνων φορτίων στους αυτοκινητοδρόμους. Ονομάζοντας 'επικίνδυνα εμπορεύματα', εννοούμε τις ουσίες και τα είδη, η μεταφορά των οποίων απαγορεύεται

από την Συμφωνία για την Οδική Μεταφορά Επικίνδυνων Εμπορευμάτων ADR ή επιτρέπεται μόνο υπό τους όρους που περιγράφονται μέσα στην πιο πάνω συμφωνία. Με πιο απλά λόγια, επικίνδυνα εμπορεύματα είναι ουσίες από τη φύση τους επικίνδυνες, των οποίων ο λανθασμένος χειρισμός κατά την φόρτωση/εκφόρτωση ή μεταφορά τους μπορεί να προκαλέσει επικίνδυνη αντίδραση. Λέγοντας 'Επικίνδυνη Αντίδραση' εννοούμε:

- ❖ Καύση ή έκλυση σημαντικού ποσού θερμότητας,
- ❖ Εκπομπή εύφλεκτων, ασφυζιογόνων, οξειδωτικών ή τοξικών αερίων,
- ❖ Σχηματισμός Διαβρωτικών ουσιών,
- ❖ Σχηματισμός Ασταθών ουσιών,
- ❖ Επικίνδυνη αύξηση της πίεσης.

Η Διεθνής/Ευρωπαϊκή Νομοθεσία αναφορικά με την Οδική Μεταφορά επικίνδυνων Εμπορευμάτων καλείται ADR. Η Αρμόδια Αρχή κάθε χώρας υπάγεται στο αντίστοιχο Υπουργείο Μεταφορών και αναφέρεται σε οδηγούς ADR, Συμβούλους Ασφαλείας ADR, Οχήματα και Ελέγχους στους δρόμους.

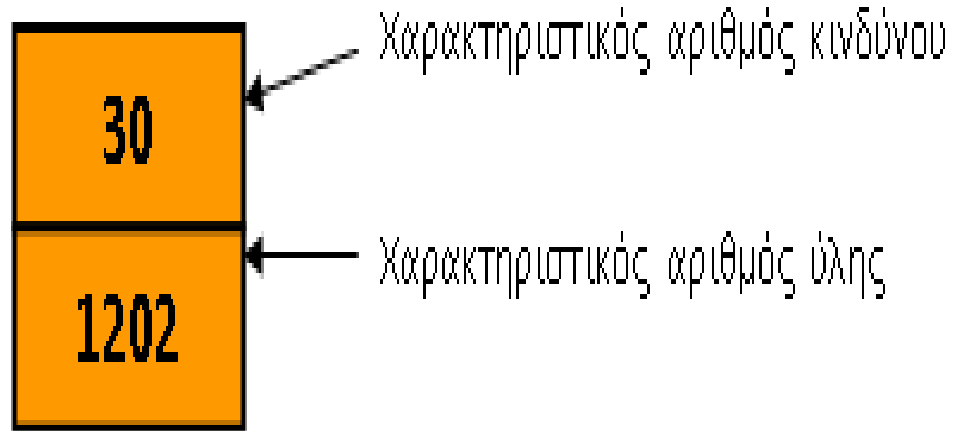
Κατά σειρά:

- ✓ Οι οδηγοί οχημάτων μεταφοράς Επικίνδυνων Εμπορευμάτων θα πρέπει να κατέχουν πιστοποιητικό επαγγελματικής κατάρτισης οδηγού ADR. Οι προϋποθέσεις κατοχής του πιστοποιητικού γίνεται με επαγγελματική κατάρτιση σε εγκεκριμένο φορέα εκπαίδευσης και αποτελείται από την βασική εκπαίδευση, την ειδίκευση μεταφοράς ουσιών σε βυτία και την εκπαίδευση μεταφοράς εκρηκτικών και ραδιενεργών ουσιών. Η διάρκεια/ισχύς του πιστοποιητικού είναι 5 έτη.
- ✓ Κάθε επιχείρηση, η οποία εκτελεί ως κύρια ή επικουρική δραστηριότητα μεταφορές επικίνδυνων εμπορευμάτων ή ενέργειες φορτοεκφόρτωσης υποχρεούται να ορίσει ένα ή περισσότερους Συμβούλους Ασφαλείας για την μεταφορά των επικίνδυνων εμπορευμάτων και να γνωστοποιήσει την ταυτότητα τους στην Αρμόδια Αρχή και στον Αστυνομικό Σταθμό της περιοχής. Να φυλάσσει για 5 έτη τις αναφορές ασφαλείας του Συμβούλου και να τις θέτει στη διάθεση της Αρμόδιας Αρχής όποτε αυτή τις ζητήσει.
- ✓ Τα οχήματα με τα οποία μεταφέρονται επικίνδυνα εμπορεύματα, πρέπει να έχουν Πιστοποιητικό έγκρισης για οχήματα Μεταφοράς Επικίνδυνων Φορτίων.
- ✓ Ο έλεγχος στο δρόμο θα διενεργείται από τους επόπτες του τμήματος Οδικών Μεταφορών, σύμφωνα με τους περί Οδικής Μεταφοράς Επικίνδυνων Εμπορευμάτων Κανονισμούς. Ο έλεγχος διενεργείται σύμφωνα με το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι των προαναφερθέντων κανονισμών, στο οποίο καθορίζονται με ακρίβεια οι παράμετροι, οι οποίοι πρέπει να τύχουν ελέγχου. Όταν παρουσιάζεται παράλειψη συμμόρφωσης με τις σχετικές διατάξεις της ADR, η οποία δημιουργεί ρίσκο θανάτου, σοβαρού τραυματισμού ή ζημιάς στο περιβάλλον λαμβάνονται άμεσα κατάλληλα διορθωτικά μέτρα.

Κάθε μονάδα που μεταφέρει επικίνδυνες ύλες πρέπει να φέρει ειδική σήμανση, η οποία περιγράφεται στον κανονισμό ADR και μη την οποία προσδιορίζεται η ταυτότητα της ύλης και το είδος του κινδύνου που μπορεί να προκαλέσει. Ο

ADR έχει προβλέψει δυο είδη σημάτων για τα οχήματα Μεταφοράς Επικίνδυνων υλών.

1. Πορτοκαλί Πινακίδα Αναγνώρισης Κινδύνου:



Όπου,

- «UN Αριθμός» είναι ο αριθμός αναγνώρισης της ουσίας ή του είδους σύμφωνα με τους Υποδειγματικούς Κανονισμούς του ΟΗΕ,
- Υποδεικνύουν το είδος του Κινδύνου ή των κινδύνων (πρωτεύοντα/δευτερεύοντα) που ενέχει η μεταφορά της ύλης,
- Το πρώτο ψηφίο υποδεικνύει τον πρωτεύοντα κίνδυνο,
- Το δεύτερο ψηφίο υποδεικνύει είτε ότι ο πρωτεύοντας κίνδυνος είναι εντονότερος ή ότι υπάρχει δευτερεύων κίνδυνος,
- Το τρίτο ψηφίο (αν υπάρχει) υποδεικνύει ότι ο δευτερεύων κίνδυνος είναι εντονότερος, ή υποδηλώνει τρίτο κίνδυνο,
- Όταν ο κίνδυνος που σχετίζεται με μια ύλη, μπορεί ικανοποιητικά να περιγραφεί από έναν μόνο αριθμό, τότε ο αριθμός αυτός ακολουθείται από το μηδέν.
- Ο αριθμός αναγνώρισης κινδύνου αποτελείται από δύο ή τρεις αριθμούς. Γενικά οι αριθμοί υποδεικνύουν τους ακόλουθους κινδύνους:
 - 2: Εκπομπή αερίου λόγω της πίεσης ή χημικής αντίδρασης,
 - 3: Εύφλεκτα υγρά (ατμών) και αερίων ή αυτό-θερμαινόμενων υγρών,
 - 4: Ευφλεκτότητα στερεών ή αυτοθερμαινόμενων στερεών,
 - 5: Οξειδωτική επίδραση,
 - 6: Τοξικότητα ή κίνδυνος μόλυνσεων,
 - 7: Ραδιενέργεια,
 - 8: Διαβρωτικότητα,
 - 9: Κίνδυνος αυθόρμητης βίαιης αντίδρασης.

Αν ο αριθμός αναγνώρισης κινδύνου φέρει ως πρόθεμα το γράμμα 'X', αυτό υποδεικνύει ότι η ουσία θα αντιδράσει επικίνδυνα με το νερό. Για τέτοιες ουσίες, το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο μετά από έγκριση από ειδικούς. Παραδείγματα Αριθμών Αναγνώρισης Κινδύνου:

-20, Ασφυξιογόνο Αέριο,

-23, εύφλεκτο Αέριο,

-30, Εύφλεκτο Υγρό.

2. Ετικέτες Κινδύνου

Οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν κατά την μεταφορά επισημαίνονται με τις ετικέτες κινδύνου. Τοποθετούνται στις συσκευασίες των επικίνδυνων υλών, στα εμπορευματοκιβώτια και στις δεξαμενές των βυτιοφόρων οχημάτων. Έχουν τετράγωνο σχήμα σε γωνία 45° με πλευρά 10cm όταν τοποθετούνται στην συσκευασία του υλικού και 20cm όταν τοποθετούνται στα εμπορευματοκιβώτια και στις δεξαμενές των βυτιοφόρων οχημάτων. Παρακάτω, παρατίθεται ο ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ με τις κλάσεις και τις αντίστοιχες ετικέτες κινδύνου. Οι κλάσεις των επικίνδυνων υλικών είναι συνολικά 9, με 3 υποκατηγορίες για τις κλάσεις 2 και 3, και 2 υποκατηγορίες για τις κλάσεις 5 και 6.

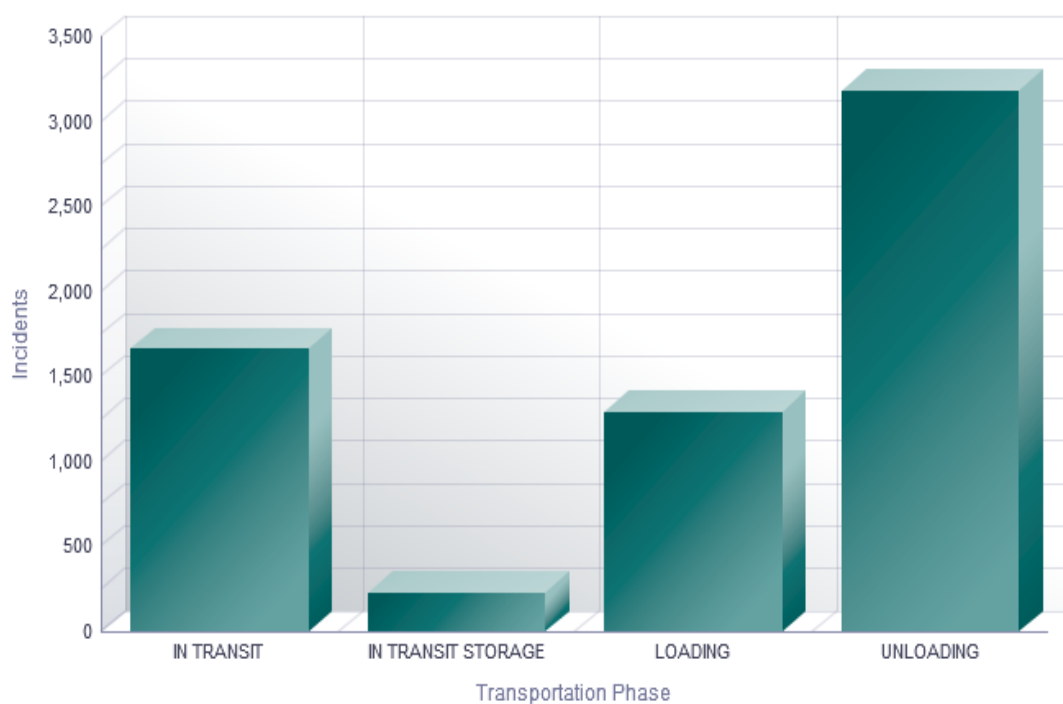
ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ: Ετικέτες κινδύνου και κλάσεις



Παρακάτω θα παρουσιάσουμε έναν πίνακα σύνοψης ατυχημάτων με επικίνδυνα υλικά στην Αμερική και ένα διάγραμμα εμφάνισης ατυχήματος ανάλογα με την φάση μεταφοράς.

ΠΙΝΑΚΑΣ IV: Ατυχήματα Μεταφοράς Επικίνδυνων Εμπορευμάτων από 1980-2010 στις ΗΠΑ (US D.O.T. FHWA)

	1980	1990	2000	2009	2010
Total	15,719	8,879	17,557	(R) 14,819	14,783
Accident-related	486	297	394	(R) 290	353
Air	223	297	1,419	(R) 1,356	1,293
Accident-related	0	0	3	2	2
Highway	14,161	7,296	15,063	(R) 12,730	12,635
Accident-related	347	249	329	(R) 251	313
Rail	1,271	1,279	1,058	(R) 643	750
Accident-related	134	48	62	37	37
Water¹	34	7	17	(R) 90	105
Accident-related	2	0	0	0	1
Other²	30	0	0	NA	NA
Accident-related	3	0	0	NA	NA



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ I: Ατυχήματα σχετιζόμενα με τη φάση Μεταφοράς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

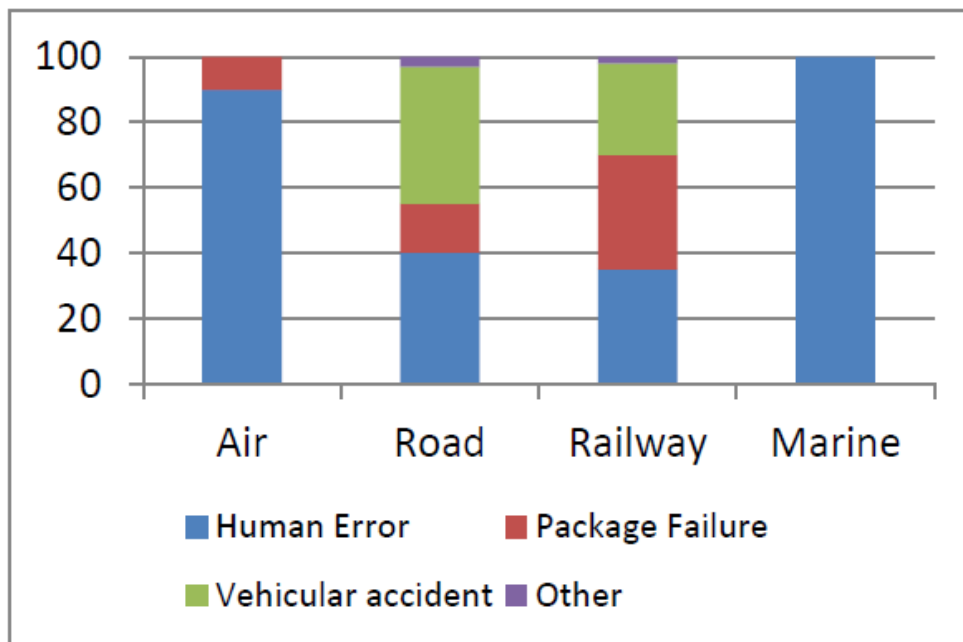
ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Αναλύοντας τα βασικά για τις κλάσεις και τους Διεθνείς Κανονισμούς Μεταφοράς Επικίνδυνων Φορτίων, μεταξύ των επικίνδυνων κλάσεων, η κλάση 3 (σε ποσοστό 50%) και η κλάση 8 (σε ποσοστό 25%) γεννούν την πληθώρα των ατυχημάτων/δυστυχημάτων (U.S.Department of Transportation, 2015), σύμφωνα με το Υπουργείο Μεταφορών. Μερικά πιθανά ατυχήματα/δυστυχήματα τα οποία επιβάλλουν ρίσκο στον άνθρωπο, στην περιουσία και το περιβάλλον μπορεί να είναι όπως έχει προαναφερθεί μια έκρηξη στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης /διεργασιών, διαρροή απ' ευθείας στην ατμόσφαιρα από τα κοντέινερ ή έκρηξη/διαρροή εξαιτίας τροχαίου δυστυχήματος με συμμετοχή οχήματος μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων. Προφανώς τέτοια δυστυχήματα μπορεί να έχουν καταστροφικές συνέπειες. Συνεπώς, η αποθήκευση, η χρήση και η μεταφορά των hazmat πρέπει να διενεργείται με ιδιαίτερη φροντίδα και προσοχή από τις αρχές ώστε το υπαγορευμένο ρίσκο να ελαχιστοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο. Στην διατριβή αυτή, εστιάζουμε στην ελαχιστοποίηση του ρίσκου και την βέλτιστη διαδρομή που μπορεί να επιτευχθεί.

Από τη στιγμή που η μεταφορά επικίνδυνου φορτίου υπαγορεύει ρίσκο στο κοινό και το περιβάλλον, είναι ουσιώδες να υπολογιστεί με κατάλληλες μεθόδους. Ένα παράδειγμα είναι ο υπολογισμός του 'παραδοσιακού ρίσκου', το οποίο βρίσκεται πολλαπλασιάζοντας την πιθανότητα εμφάνισης ενός ανεπιθύμητου γεγονότος (π.χ. τροχαίου δυστυχήματος) και τη σχετιζόμενη συνέπεια. Άλλο παράδειγμα ρίσκου αποτελεί η έκθεση του πληθυσμού, η οποία δηλαδή είναι ο συνολικός αριθμός των ανθρώπων που εκτίθενται στο ρίσκο κατά τη διάρκεια μεταφοράς επικίνδυνου φορτίου με όχημα.

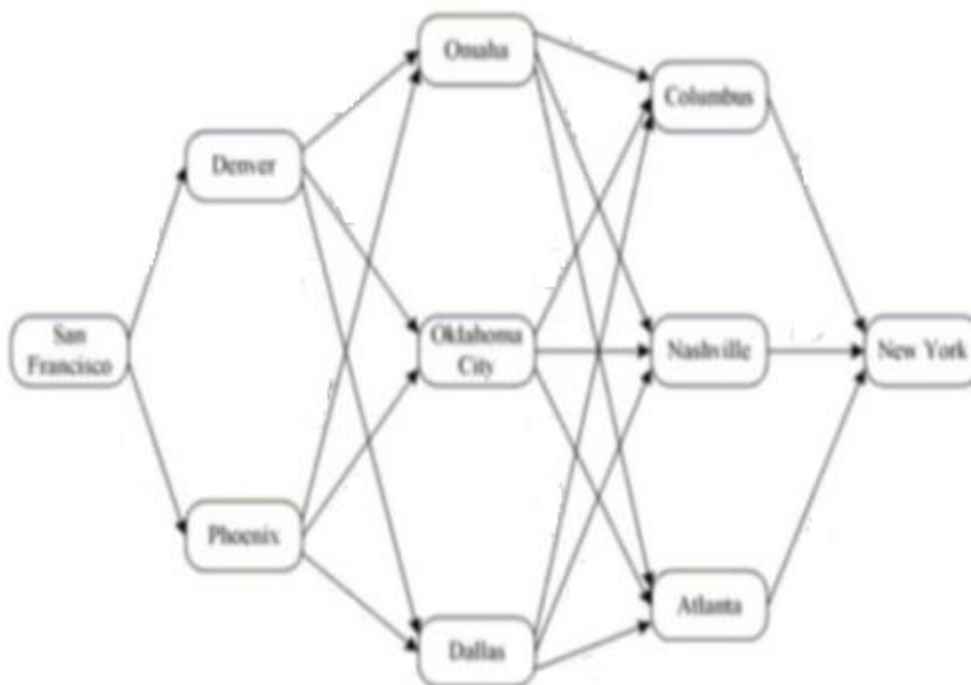
Γενικά, επικίνδυνα προϊόντα μέσω 5 τρόπων: οδικώς, σιδηροδρομικώς, μέσω θαλάσσης, αεροπορικώς και μέσω αγωγών. Μεταξύ των τρόπων, οι πιο δημοφιλείς είναι σιδηροδρομικώς και οδικώς. Υπολογίζεται το 43% της συνολικής μεταφερόμενης χωρητικότητας γίνεται με φορτηγά και το 57% γίνεται σιδηροδρομικώς, μέσω θαλάσσης και αγωγών.

Ένα πιθανό δυστύχημα που εμπλέκει οχήματα επικίνδυνων φορτίων μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες. Δυστυχήματα μπορούν να συμβούν είτε στο αρχικό σημείο/τελικό προορισμό, είτε καθ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής. Αυτά τα δυστυχήματα μπορεί να προκαλέσουν θανάτους, τραυματισμούς, εκκενώσεις περιοχών, καταστροφή περιουσίας, ζημιά στο περιβάλλον και κυκλοφοριακή αναστάτωση. Στην πλειονότητα τους, κύρια αιτία των δυστυχημάτων είναι ο ανθρώπινος παράγοντας (ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ I, Erkut et al, 2007). Εξαιτίας αυτών των παραγόντων ρίσκου, η μεταφορά hazmat χρήζει ιδιαίτερης κρατικής προσοχής και πρέπει να σχεδιάζεται σχολαστικά ώστε να ελαχιστοποιείται το ρίσκο έκθεσης στο κοινό.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΙΙ: Ανάλυση παραγόντων ατυχημάτων (Erkut et al, 2007)

Στην παρούσα εργασία, μελετήσαμε ένα δίκτυο πόλεων της Αμερικής σύμφωνα με το κάτωθι ΣΧΗΜΑ Ι. Ο αρχικός και ο τελικός προορισμός είναι σταθεροί και η μεταφορά θα γίνει εξ' ολοκλήρου οδικώς με φορτηγό μεταφοράς επικίνδυνων εμπορευμάτων.



ΣΧΗΜΑ Ι: Μεταφορικό οδικό δίκτυο σύνδεσης αποστολέα (SAN FRANCISCO) και πελάτη (NEW YORK) με τις πιθανές διαδρομές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε την μεταφορά επικίνδυνων φορτίων (hazmat) σύμφωνα με την βιβλιογραφία. Για τον σκοπό αυτό, εξετάζουμε 2 περιοχές στην βιβλιογραφία:

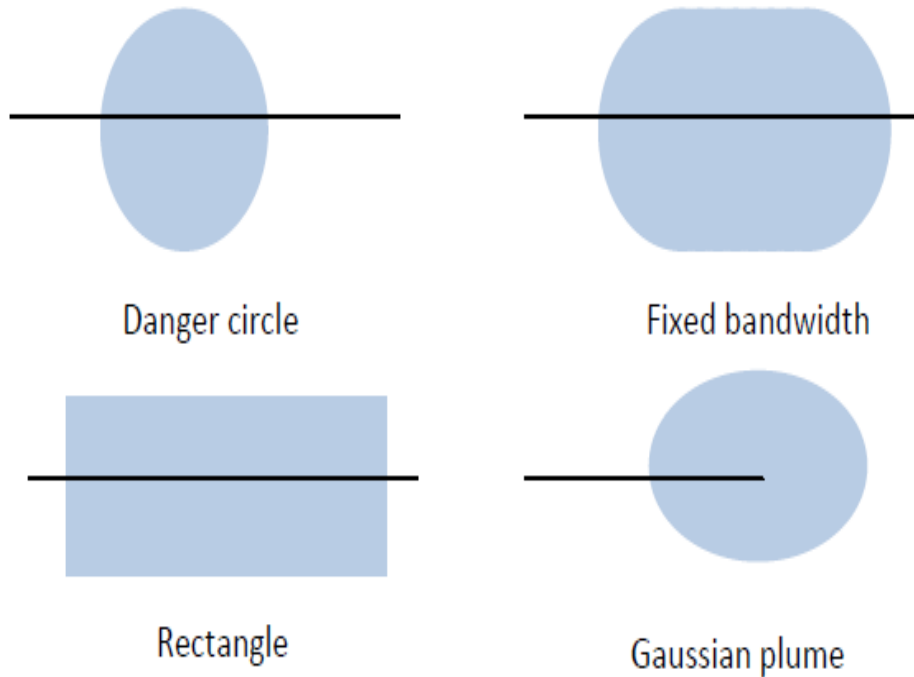
- 1) Απλή Μεταφορά Επικίνδυνων Φορτίων,
- 2) Διατροφική Μεταφορά Επικίνδυνων Φορτίων (Οδικώς-Σιδηροδρομικώς).

Το πρόβλημα της Απλής Μεταφοράς Επικίνδυνων Φορτίων έχει γίνει εξαιρετικά σημαντικό λόγω των συνεπειών ενός πιθανού ατυχήματος/δυστυχήματος κατά την μεταφορά. Ως εκ τούτου, οι πτυχές της μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων χρήζουν αυξημένης προσοχής από ερευνητές στη διάρκεια των χρόνων.

Ατυχήματα με hazmat συχνά αναφέρονται σαν μικρής-πιθανότητας-υψηλών-συνεπειών (low-probability-high-consequence) γεγονότα. Η πιθανότητα εμφάνισης τέτοιου είδους ατυχημάτων είναι μικρή, ενώ η λήψη των συνεπειών ουσιώδης. Εξαιτίας του κινδύνου των επικίνδυνων υλικών, υπάρχουν κάποιες πράξεις που ελαχιστοποιούν την απειλή από πιθανή έκθεση της κοινωνίας και του περιβάλλοντος στις επικίνδυνες ουσίες όπως η «Ομοιόμορφη Πράξη Ασφαλείας (Uniform Safety Act-1990)» και η «Πράξη για την Προστασία του Περιβάλλοντος του Καναδά-1988». Στην καναδική πράξη, ο σκοπός είναι να σχεδιαστεί και να τεθούν σε ενέργεια οι κατάλληλες συνθήκες ελέγχου της μεταφοράς τοξικών προϊόντων. Υπάρχουν μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν την δημόσια ευαισθητοποίηση όπως είναι η άνιση κατανομή του ρίσκου ή η επίπτωση που δημιουργείται από τα Μέσα Ενημέρωσης (Erkut and Verter, 1995).

Το ρίσκο είναι το κύριο συστατικό, το οποίο διαχωρίζει τα προβλήματα μεταφοράς επικίνδυνων εμπορευμάτων (hazmat) από άλλα προβλήματα μεταφοράς στην βιβλιογραφία. Μπορεί να οριστεί σαν την μέτρηση της πιθανότητας και της σοβαρότητας μιας βλάβης (Alp, 1995). Το ρίσκο μπορεί να μετρηθεί μέσω ποιοτικών ή ποσοτικών μεθόδων. Στην ποιοτική αξιολόγηση του ρίσκου, το σενάριο πιθανού ατυχήματος αναγνωρίζεται για να υπολογιστούν οι ανεπιθύμητες συνέπειες. Αυτή η μέθοδος προτιμάτε εάν υπάρχει έλλειψη αξιόπιστων στοιχείων.

Οι ποσοτικές μέθοδοι από την άλλη πλευρά, εμπλέκουν τρία βασικά στάδια: α) Ταυτοποίηση αποδεκτών ζημιών και έκθεσης, β) Ανάλυση συχνότητας, και γ) Μοντέλο συνεπειών και υπολογισμός ρίσκου. Ενώ εκτιμάται το ρίσκο στις διαδρομές για τα στάδια, μια κρίσιμη απόφαση είναι η επιλογή του οχήματος της περιοχής με το αντίκτυπο. Υπάρχουν διαφορετικά γεωμετρικά σχήματα, τα οποία χρησιμοποιούνται από τους ερευνητές για να μοντελοποιήσουν την πληγείσα περιοχή, όπως ο επικίνδυνος κύκλος (Erkut and Verter, 1998), το σταθερό εύρος ζώνης – έλλειψη - (ReVelle et al, 1991), το ορθογώνιο παραλληλόγραμμα και η γκαουσιανή σφαίρα (Zhang et al, 2000). Το ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ II δείχνει τα τέσσερα πιθανά σχήματα που χρησιμοποιούνται στην βιβλιογραφία:



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ III: Πιθανά γεωμετρικά σχήματα κινδύνων

Στην βιβλιογραφία υπάρχουν πολλοί ορισμοί για το ρίσκο που χρησιμοποιούνται στις εκτιμήσεις. Κάποιοι από αυτούς διευκρινίζονται εν συντομία και συνοψίζονται παρακάτω στον ΠΙΝΑΚΑ IV και ακολουθεί η σύντομη ανάλυση τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ V: Σύνοψη των 5 προτεινόμενων μοντέλων ρίσκων της βιβλιογραφίας

Approach	Model	Sample References
Traditional Risk	$TR(P) = \sum_{i \in P} p_i C_i$	Alp 1995, Erkut and Verter 1995b
Population Exposure	$PE(P) = \sum_{i \in P} T_i$	ReVelle et al. 1991, Batta and Chiu 1988
Incident Probability	$IP(P) = \sum_{i \in P} p_i$	Saccomanno and Chan 1985, Abkowitz et al. 1992
Perceived Risk	$PR(P) = \sum_{i \in P} p_i (C_i)^q$	Abkowitz et al. 1992
Conditional Risk	$CR(P) = \sum_{i \in P} p_i C_i / \sum_{i \in P} p_i$	Sivakumar et al. 1993a, 1993b, 1995

- ❖ *Traditional Risk*: Οι Covello και Merkhofer (1993) ορίζουν το ρίσκο ως το προϊόν της πιθανότητας και της συνέπειας ενός ανεπιθύμητου γεγονότος, συμβολιζόμενο ως παραδοσιακό ρίσκο. Αυτός ο ορισμός μερικές φορές αναφέρεται σαν το 'τεχνικό ρίσκο' (technical risk).
- ❖ *Population Exposure*: ο συνολικός αριθμός των ανθρώπων που εκτίθενται στο ρίσκο κατά τη διάρκεια μιας μεταφορικής δραστηριότητας μπορεί να αποτελέσει έναν άλλο κατάλληλο ορισμό του ρίσκου. Ο ReVelle et al (1991) χρησιμοποίησε αυτό το μοντέλο στις μελέτες του για το U.S. Department of Energy.
- ❖ *Incident Probability*: Από μια άλλη σκοπιά, εάν θεωρηθεί ότι όλες οι πυκνότητες πληθυσμών είναι ίσες με κάποιες σταθερές (στον επικίνδυνο κύκλο) και το hazmat έχει πολύ μικρή επικίνδυνη ακτίνα, τότε η πιθανότητα ατυχήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μέτρηση ρίσκου. Οι Saccomanno και Chau (1985) χρησιμοποιούν για πρώτη φορά τον ορισμό στην βιβλιογραφία.
- ❖ *Perceived Risk*: Για να αντικατοπτρίσουν την αποστροφή πάνω στο μικρής-πιθανότητας-μεγάλης-συνέπειας γεγονός, ο Abkowitz et al (1992) προτείνει το μοντέλο του αντιληπτού ρίσκου (για ένα τμήμα μονάδας δρόμου-PR), με τη χρήση της προτιμητέας παραμέτρου ρίσκου q σαν την δύναμη της συνέπειας.
- ❖ *Conditional Risk*: Για να μελετήσει την σπουδαιότητα της προϊστορίας των δυστυχημάτων ο Sivakumar et al (1993,1995) πρότεινε τον ορισμό του υποθετικού ρίσκου, το οποίο ορίζεται σαν την αναμενόμενη συνέπεια που δίνει την εμφάνιση του πρώτου δυστυχήματος.

Εκτός από αυτά τα μοντέλα ρίσκου, μερικές πρόσφατες μελέτες ασχολούνται με την εκτίμηση του ρίσκου μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων από αυτοκινητοδρόμους και/ή από σιδηροδρόμους όπως εξηγείται παρακάτω.

Ο Bonvicini et al (1998) μελέτησε την εφαρμογή της ασαφούς λογικής στην εκτίμηση του ρίσκου μεταφοράς επικίνδυνου φορτίου μέσω δικτύου αποτελούμενο από δρόμο και αγωγούς. Από όταν η ασαφής λογική χρησιμοποιείται στην εκτίμηση ρίσκου, αβέβαιοι παράμετροι 'στέκουν' σαν ασαφείς αριθμοί. Οι υπολογισμοί ρίσκου γίνονται με τη χρήση ασαφούς αριθμητικής. Αυτή η μέθοδος δείχνει πως εάν δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα, η διαδικασία όπως η ασαφής λογική μπορεί να είναι μια χρήσιμη εναλλακτική προσέγγιση για βέβαιο υπολογισμό.

Ο Bubicco et al (2000) μελέτησε την συσχέτιση σιδηροδρομικής και οδικής μεταφοράς LPG. Ανέλυσε 130 ατυχήματα LPG στην Ιταλία για να ταυτοποιήσει τα σενάρια και τους παράγοντες οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν ατυχήματα. Ο συγγραφέας πρότεινε μια ποσοτική τεχνική υπολογισμού ρίσκου, που βασίζεται στον ατομικό κίνδυνο. Οι παράμετροι που εξετάστηκαν είναι ρυθμός ατυχημάτων, αριθμός ταξιδιών ανά χρόνο, πιθανότητα απελευθέρωσης κ.τ.λ. τα αποτελέσματα δείχνουν ότι για τη μεταφορά LPG, ο κίνδυνος για τις σιδηροδρομικές μεταφορές είναι κάτι περισσότερο από μια τάξη μεγέθους μικρότερη απ' ότι για εκείνους στους δρόμους, σύμφωνα με τα δεδομένα που ελήφθησαν για την Ιταλία.

Ο Milazzo et al (2002) αναλύει την μεταφορά hazmat μέσω της πόλης Μεσίνα στο Σίσιλι. Χρησιμοποιούν ένα πρόγραμμα ονομαζόμενο TRAT2 και αναλύουν μελέτες μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων με διαφορετικούς τρόπους. Το πρόγραμμα αυτό έχει δυο κύρια στάδια:

- (1) Ανάλυση του τύπου μεταφοράς για να υπολογιστούν οι επιδράσεις και τα τρωτά σημεία και
- (2) Εισαγωγή δεδομένων συμπεριλαμβανομένου δίκτυο μεταφοράς, κατανομή πληθυσμού και τοποθεσία εργοστασίων και υπολογίζει τα κοινωνικά και ατομικά ρίσκα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος, προσφέρουν δυο διαφορετικές λύσεις να βελτιώσουν την ασφάλεια της εδαφικής περιοχής.

Οι Brown και Dunn (2007) παρουσιάζουν μια μελέτη ποσοτικής εκτίμησης του ρίσκου για υπολογισμό των κατανομών των συνεπειών για την μεταφορά των επικίνδυνων φορτίων. Η μέθοδος τους δίνει μεγάλη έμφαση στο μοντέλο συνεπειών και απασχολεί σημαντικά στατιστικά δεδομένα από παλιά ατυχήματα. Αρχικά αναλύουν το κύριο στατιστικό δεδομένο, το οποίο περιλαμβάνει γεωγραφικά και χρονικά – κατανομή- ατυχημάτων, κατανομή απαλλαγών και μετεωρολογικά δεδομένα. Κατόπιν εφάρμοσαν 2 κλάσεις φυσικών μοντέλων για το μοντέλο του ατυχήματος. Το πρώτο είναι μοντέλο πηγής εκπομπών και το δεύτερο είναι μοντέλο ατμοσφαιρικής διασποράς. Αυτή η τεχνική παρέχει ανάλυση χιλιάδων σεναρίων ατυχημάτων και εφαρμογής του μοντέλου συνεπειών για να υπολογίσει ικανοποιητικά το ποσοστό χρόνου δράσης προστασίας ανάλογα με την απόσταση.

Μια άλλη μελέτη εκτίμησης ρίσκου αναπτύχθηκε από τον Glickman et al (2007). Παρουσιάζουν ένα μοντέλο ρίσκου, το οποίο ποσοτικοποιεί το ρίσκο της σιδηροδρομικής μεταφοράς. Χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα του μοντέλου με ένα σταθμισμένο συνδυασμό του κόστους για να δημιουργήσουν αναπληρωματικές διαδρομές. Εφτά παράγοντες χρησιμοποιούνται για να εκτιμήσουν το ρίσκο κατά μήκος κάθε συνδέσμου του δικτύου: (1) απόσταση, (2) ρυθμός ατυχημάτων, (3) αριθμός φορτωμένων βαγονιών ανά τρένο, (4) αριθμός βαγονιών με επικίνδυνα υλικά, (5) πιθανότητα υποθετικής απελευθέρωσης, (6) μέγεθος της κρίσιμης περιοχής με το αντίκτυπο, (7) πυκνότητα πληθυσμού περιοχής.

Στα προβλήματα μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων, υπάρχουν πολλαπλά εμπλεκόμενα μέρη όπως:

- Μεταφορείς,
- Φορτωτές προϊόντων,
- Ασφαλιστικές εταιρίες,
- Κυβερνήσεις.

Οι κυβερνήσεις επηρεάζουν τους μεταφορείς να προτιμούν τις διαδρομές με το ελάχιστο ρίσκο, για να ελαχιστοποιούν τις συνέπειες εφαρμογής κανονισμών πάνω στους αυτοκινητόδρομους, καθώς οι μεταφορείς γενικά θέλουν να μεταφέρουν τα επικίνδυνα υλικά με το ελάχιστο κόστος. Ως εκ τούτου, το πρόβλημα των hazmat είναι πολυκριτηριακό με πολλαπλά εμπλεκόμενα μέρη. Από αυτή την άποψη, η επιλογή διαδρομών και τοποθεσιών των εγκαταστάσεων των επικίνδυνων υλικών πρέπει να ικανοποιεί και τα δυο μέρη το δυνατόν περισσότερο (Erkut et al, 2007).

Άλλες πρόσφατες μελέτες είναι οι κάτωθι:

- Zografos και Samara (1989) για μεταφορά επικίνδυνων αποβλήτων,
- Lafer, List και Mirchandani (1991) εξετάζουν το ελάχιστο κόστος και ρίσκο για μεταφορά επικίνδυνων αποβλήτων,
- Giannikos (1998) χρησιμοποιεί τεχνική στοχευμένου προγραμματισμού για παρόμοια προβλήματα,
- Οι Alumur και Kara (2007) έχουν την πιο πρόσφατη μελέτη για μεταφορά επικίνδυνων αποβλήτων,
- Οι Halender και Melachrinidis (1997) με προβλήματα διαδρομών,
- Ο Carranera et al (2004) χρησιμοποιεί χαλάρωση Lagrange για να διαχωρίσει τα προβλήματα τοποθεσίας διαδρομών.

4.1 ΔΙΑΤΡΟΠΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΩΝ (ΟΔΙΚΩΣ-ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΩΣ)

Σ ε αυτό το σημείο θα κάνουμε μια σύντομη παρένθεση με αναφορά στις διατροφικές μεταφορές, που είναι συνδυασμός οδικής και σιδηροδρομικής μεταφοράς. Έχουν μελετηθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία και για τον λόγο αυτό παραθέτουμε ορισμένα στοιχεία στο παρόν κεφάλαιο. Διατροφικές μεταφορές φορτίων με τρένο-φορτηγό (RTIM) έχουν ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα, το οποίο συνδυάζει την προσβασιμότητα των οδικών δικτύων και την αποτελεσματικότητα των αποστολών με τρένο. Επιπρόσθετα, οι διατροφικές μεταφορές προσελκύουν ιδιαίτερης προσοχής από αποστολείς καθώς τα τρένα είναι αξιόπιστα για παραδόσεις στην ώρα τους.

Από τότε που αυξήθηκε ο όγκος των επικίνδυνων φορτίων, το πλεονέκτημα των διατροφικών μεταφορών έγινε πιο σημαντικό για να ελαχιστοποιήσει το κόστος και το ρίσκο που υπαγορεύεται στο κοινό. Ένα ουσιώδες πλεονέκτημα της μεταφοράς με τρένο είναι ότι συνδυάζει μεταφορά επικίνδυνων και μη- φορτίων μαζί, ενώ αυτοί οι δυο τύποι ποτέ δεν συνδυάζονται στις αποστολές φορτηγών. Επιπρόσθετα, μια δεξαμενή τρένου είναι τρεις φορές της χωρητικότητας ενός φορτηγού (Verma and Verter 2007).

Υπάρχουν δυο μελέτες που εστιάζουν στην διατροφική μεταφορά επικίνδυνων φορτίων (Verma(2009), Verma and Verter (2010)). Η έρευνα Verma (2009) είναι η πρώτη εφαρμογή οριοθετημένης μελέτης, η οποία εστιάζει στο στρατηγικό πρόβλημα των σιδηροδρομικών εταιριών για τακτικές μεταφορές μιας προκαθορισμένης ποσότητας επικίνδυνων και μη- φορτίων κατά μήκος του σιδηροδρομικού δικτύου. Ανέπτυξε ένα μοντέλο δυο-αντικειμενικής βελτιστοποίησης. Το προσδιοριζόμενο κόστος βασίζεται στην βιομηχανία μεταφοράς σιδηροδρομικώς και το ρίσκο προσδιορίζεται από την ενσωμάτωση του ρυθμού των σιδηροδρομικών ατυχημάτων. Το μοντέλο χρησιμοποιείται στην επίλυση ρεαλιστικού μεγέθους προβλήματος.

Οι Later, Verma και Verter (2010) εστίασαν στην γενική εκδοχή της διατροφικής μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων. Οι συγγραφείς μελέτησαν το πρόβλημα της διατροφικής μεταφοράς τρένου-φορτηγού. Ο σκοπός τους είναι να προσδιορίζεται το καλύτερο σχέδιο μεταφοράς για επικίνδυνα και μη- σε ένα διατροφικό δίκτυο τρένου-φορτηγού, όπου ένα σετ προκαθορισμένων χρόνων πρέπει να ικανοποιεί την επιλογή

των διαδρομών των φορτηγών και τις υπηρεσίες του τρένου που θα χρησιμοποιηθεί. Το αντικείμενο είναι, ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μεταφοράς και του συνολικού ρίσκου που σχετίζεται με επικίνδυνο φορτίο. Ανέπτυξαν μια επαναληπτική αποσύνθεση βασισμένη στην μεθοδολογία λύσης. Αποσύνθεσαν το πρόβλημα σε 2 υποπροβλήματα: τρένου-μεταφορά και drayage. Αυτοί οι χρόνοι χρησιμοποιούνται σαν παράμετροι στο drayage μέρος της μεταφοράς. Εφάρμοσαν σαν παράδειγμα, καθορισμένο διατροπικό δίκτυο στην ανατολική Αμερική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε το μοντέλο ρίσκου μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων Erkut et al (1998). Παρ' όλο που ο όρος ρίσκο είναι δημοφιλής στα μέσα και την βιβλιογραφία, για πολλούς συγγραφείς, δεν υπάρχει παγκοσμίως αποδεκτός ορισμός του ρίσκου. Πολλοί άνθρωποι θα συμφωνούσαν ότι το ρίσκο έχει να κάνει με την πιθανότητα και την συνέπεια ενός ανεπιθύμητου γεγονότος. Παρ' όλα αυτά ορισμένοι συγγραφείς, ορίζουν το ρίσκο σαν έναν από τους όρους (πιθανότητα ή συνέπεια), είναι όμως ευρέως κοινά αποδεκτό να ορίζουμε το ρίσκο σαν το προϊόν της πιθανότητας και της συνέπειας ενός ανεπιθύμητου γεγονότος (Covello and Merkhofer, 1993). Είναι η 'αναμενόμενη συνέπεια', και είναι ο ορισμός του παραδοσιακού ρίσκου (traditional risk) σε αυτή την εργασία.

Στην περίπτωση της μεταφοράς επικίνδυνου φορτίου, ένα ανεπιθύμητο γεγονός είναι ένα ατύχημα που έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση μιας επικίνδυνης ουσίας. Αυτό συνήθως καλείται ένα περιστατικό. Παρ' όλα αυτά, μπορεί να υπάρξουν πολλές ανεπιθύμητες συνέπειες από ένα ατύχημα (καταστροφή της άγριας ζωής, οικονομικές απώλειες και τραυματισμοί), σχεδόν όλη η βιβλιογραφία ενδιαφέρεται για την θνησιμότητα. Ως εκ τούτου, είναι συνθήκη να υποθέσουμε ότι η ανεπιθύμητη συνέπεια είναι αναλογική του μεγέθους του πληθυσμού στη 'γειτονιά' του ατυχήματος, στην οποία το μέγεθος τη 'γειτονιάς' εξαρτάται από την μεταφερόμενη ουσία. Επιπλέον, η πιθανότητα εμφάνισης ατυχήματος εξαρτάται τόσο από την μεταφερόμενη ουσία, όσο και από τον τύπο του δρόμου.

Σαφώς, το σχετιζόμενο ρίσκο του μεταφερόμενου επικίνδυνου φορτίου δεν εξαρτάται μόνο από την ουσία που μεταφέρεται αλλά επίσης από τα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου, όπως ο οδικός τύπος και ο πληθυσμός κατά μήκος της επιλεγμένης διαδρομής. Γι' αυτό αναπτύσσουμε το μοντέλο του 'παραδοσιακού ρίσκου' για μεταφορά hazmat ξεκινώντας με τα δομικά στοιχεία δηλαδή το ρίσκο της μονάδας οδικού τμήματος και το άκρο ρίσκου (edge risk).

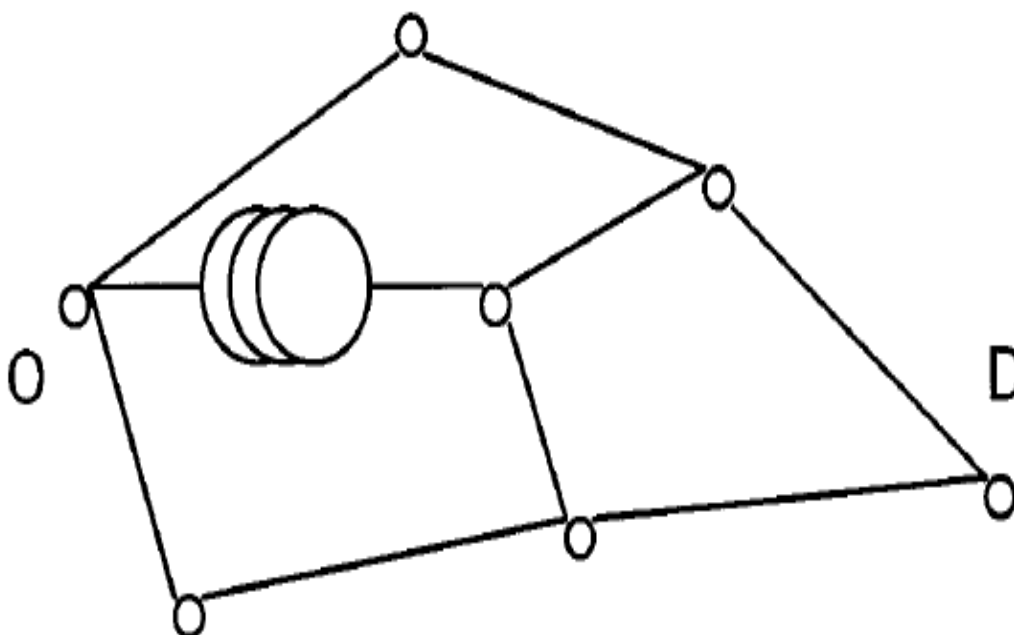
5.1 ΡΙΣΚΟ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΜΟΥ (UNIT ROAD SEGMENT RISK)

Χρησιμοποιώντας τον παραδοσιακό ορισμό του ρίσκου, το ρίσκο μεταφοράς επικίνδυνου φορτίου B μέσω οδικού τμήματος A γράφεται:

$$R_{AB} = \rho_{AB} \cdot C_{AB} \quad (1)$$

Όπου, ρ_{AB} : πιθανότητα ατυχήματος στο οδικό τμήμα A για επικίνδυνο φορτίο B,
 C_{AB} : πληθυσμός κατά μήκος του οδικού τμήματος A, εντός της γειτονιάς που σχετίζεται με το επικίνδυνο φορτίο B.

Για τα περισσότερα επικίνδυνα φορτία, οι υπολογισμοί των πιθανοτήτων ατυχήματος είναι μεταξύ 0.1 και 0.8 ανά εκατομμύριο μίλια. Η συνέπεια εξαρτάται από την πυκνότητα του πληθυσμού κοντά στο οδικό τμήμα και μπορεί να υπολογιστεί με χρήση της περιοχής επιπτώσεων για το υπό εξέταση επικίνδυνο φορτίο. Η περιοχή επίπτωσης μπορεί να παρασταθεί σαν κύκλος και η ακτίνα μπορεί να είναι οποιαδήποτε μέχρι 7 μίλια (ANUTEC 1992 προτείνει αρχική ακτίνα εκκένωσης 0.5 έως 1 μίλι για τις περισσότερες επικίνδυνες πυρκαγιές). Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, εάν δούμε την περιοχή επίπτωσης σαν έναν 'επικίνδυνο κύκλο', μπορούμε να φανταστούμε την δραστηριότητα μεταφοράς σαν την κίνηση αυτού του επικίνδυνου υλικού κατά μήκος του οδικού τμήματος από ένα αρχικό σημείο στον τελικό προορισμό.



ΣΧΗΜΑ II: Απεικόνιση μεταφοράς επικίνδυνου φορτίου μεταξύ αρχικού και τελικού προορισμού

Η χρήση αυτού του ‘κύκλου κινδύνου’ στον υπολογισμό του ατυχήματος απαιτεί ορισμένες αιτιολογήσεις. Αυτό είναι στην πραγματικότητα μια απλούστευση αναγκαία από τους περιορισμούς των δεδομένων. Για να το φανταστούμε, σκεφτείτε το μοντέλο επίδρασης ενός διαρρηγμένου κοντέινερ συμπιεσμένης αμμωνίας σε δοθέν σημείο και χρόνο. Ο ακριβής υπολογισμός του αριθμού των θανάτων σαν αποτέλεσμα της ρήξης του βυτίου απαιτεί αρχικά υπολογισμό της συγκέντρωσης του αερίου σαν συνάρτηση του ρυθμού και του τύπου της απελευθέρωσης, την απόσταση από το κοντέινερ, τους υπάρχοντες ανέμους και την τοπογραφία. Βασισμένοι στην ταχύτητα και την πυκνότητα του αερίου, τρία διαφορετικά μοντέλα διασποράς πρέπει να εφαρμοστούν για να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις σε διαφορετικές αποστάσεις (Glickman and raj,1991). Πρέπει τότε να υπολογίσουμε την πιθανότητα ανθρωπίνου θανάτου σαν συγκέντρωση της αμμωνίας. Τέλος, πολλαπλασιάζοντας αυτές τις πιθανότητες με τους ανθρώπους που κατοικούν σε διαφορετικές αποστάσεις από το κοντέινερ και αθροίζοντας, μπορούμε να βρούμε την αναμενόμενη θνησιμότητα που θα προκληθεί από το ατύχημα.

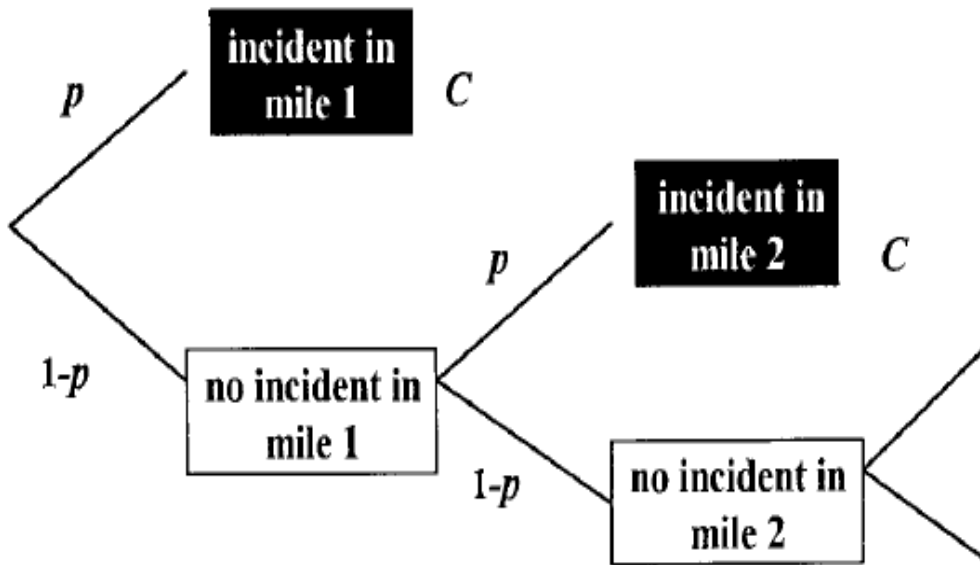
Είναι εύκολο να αντιληφθούμε ότι αυτή η διαδικασία υπολογισμού απαιτεί πολλές πληροφορίες. Απαιτεί ακριβή γνώση:

1. Των μετεωρολογικών συνθηκών,
2. Της τοπογραφίας,
3. Της επίδρασης της αμμωνίας στον άνθρωπο,
4. Τη θέση των ατόμων την ώρα της απελευθέρωσης.

Συνοψίζοντας τα ανωτέρω, γίνεται αντιληπτή η δυσκολία συγκέντρωσης όλων αυτών των δεδομένων, ως εκ τούτου, παρ’ ότι είναι θεωρητικά εφικτό είναι πρακτικά απίθανος ο ακριβής υπολογισμός των συνεπειών του ατυχήματος. Αυτός είναι και ο λόγος που χρησιμοποιείται ο ‘κύκλος κινδύνου’ στο παραπάνω μοντέλο ρίσκου. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί σαν το χειρότερο σενάριο καθώς ο πληθυσμός μιας περιοχής στη διάρκεια της μέρας ποικίλει, ανάλογα με την ώρα και το που βρίσκεται ο καθένας (π.χ.. εργασία κ.τ.λ.).

5.2 ΑΚΡΟ ΚΙΝΔΥΝΟΥ (EDGE RISK)

Η εξίσωση είναι έγκυρη για ένα μοναδιαίο τμήμα δρόμου και θα προχωρήσουμε τώρα στον υπολογισμό του ρίσκου κατά μήκος του δικτύου μεταφοράς του επικίνδυνου φορτίου. Λόγω κατασκευής του δικτύου είναι ασφαλές να υποθέσουμε ότι ένα άκρο του δικτύου είναι η συλλογή n μοναδιαίων τμημάτων (π.χ. μιλίων), κάθε ένα με την ίδια πιθανότητα p και πληθυσμό c (στον ‘κύκλο κινδύνου’). Το όχημα είτε θα έχει ατύχημα στο 1^ο μίλι ή θα φτάσει με ασφάλεια στο 2^ο μίλι. Εάν φθάσει στο 2^ο μίλι, είτε θα έχει ατύχημα εκεί ή όχι κ.ο.κ.. Υποθέτουμε ότι το ταξίδι τελειώνει όταν εμφανιστεί ατύχημα. Το παρακάτω σχήμα δίνει όλα τα πιθανά αποτελέσματα ενός ταξιδιού κατά μήκος ενός κομματιού του οδικού δικτύου.



ΣΧΗΜΑ ΙΙΙ: Επιμέρους πιθανότητα μέσω δενδροδιαγράμματος όπου p η πιθανότητα και c η κατανομή του πληθυσμού στο σημείο του ατυχήματος

Η αναμενόμενη συνέπεια (ρίσκο) που σχετίζεται με το τμήμα οδικού δικτύου εκφράζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$p \cdot c + (1-p) \cdot p \cdot c + (1-p)^2 \cdot p \cdot c + \dots + (1-p)^n \cdot p \cdot c \quad (2)$$

Σημειώστε πως τα δοθέντα p , n και c μπορούν να υπολογιστούν στο πρόβλημα επιλογής διαδρομής. Παρ' όλα αυτά είναι εύκολο να απλοποιηθεί με χρήση της κάτωθι προσέγγισης:

$$p^s \approx 0, \text{ for } s > 1 \quad (3)$$

Αυτή η προσέγγιση είναι πολύ λογική αφού το p είναι το πολύ τάξης 10^{-6} σε 1.000.000 μίλια. Με την προσέγγιση το ρίσκο που σχετίζεται γίνεται:

$$(pn) \cdot c$$

Ορισμός,

P_i = πιθανότητα ατυχήματος στο άκρο i ,

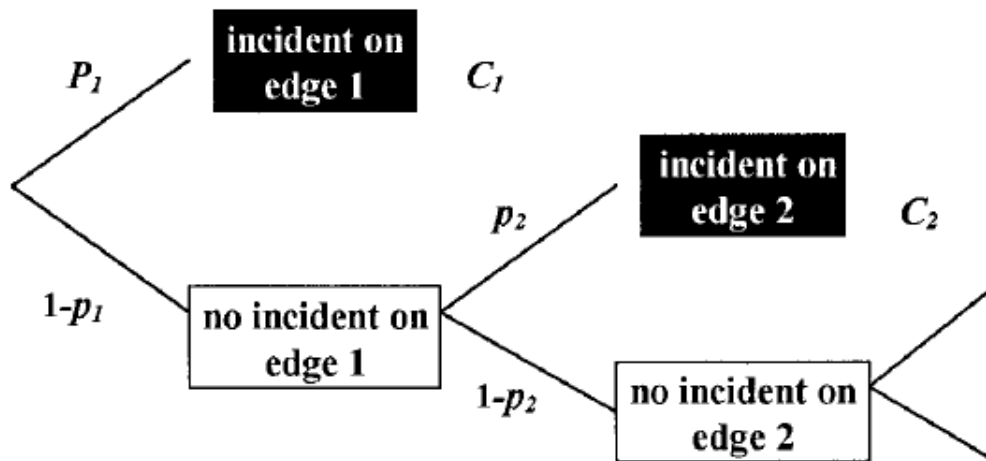
C_i = αριθμός των ανθρώπων εντός του 'κύκλου κινδύνου' κατά μήκος του άκρου i και το εκφράζουμε σαν:

$$R_i = P_i \cdot C_i \quad (4)$$

Σημειώστε ότι επιθυμούμε ομοιόμορφη πιθανότητα ατυχήματος και ομοιόμορφη πυκνότητα πληθυσμού για να εκφράσουμε το ρίσκο (εάν το δίκτυο σχεδιάστηκε με τρόπο ώστε τα δύο γνωρίσματα να μην είναι ομοιόμορφα, τότε ο υπολογισμός του ρίσκου γίνεται πιο πολύπλοκος).

5.3 ΡΙΣΚΟ ΜΟΝΟΠΑΤΙΟΥ (PATH RISK)

Σε αυτό το σημείο, θέτουμε το απλό ερώτημα, ‘πώς μπορούμε να εκφράσουμε το ρίσκο σε ολόκληρο το μονοπάτι μεταξύ αρχής και τελικού προορισμού;’. Το μονοπάτι είναι ένα σύνολο τμημάτων και σύμφωνα με το σχήμα μπορούμε να δούμε το ταξίδι σαν πιθανοκρατικό πείραμα:



ΣΧΗΜΑ IV: Επιμέρους πιθανότητες ανά οδικό τμήμα με αντιστοιχία P_i ($i=1,2,\dots,n$) και C_i ($i=1,2,\dots,n$)

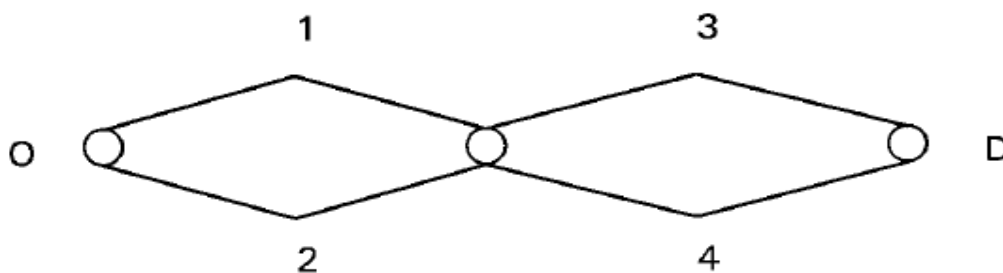
Η αναμενόμενη συνέπεια -ρίσκο-, που σχετίζεται με το ταξίδι μπορεί να εκφραστεί ως παρακάτω:

$$p_1 \cdot C_1 + (1-p_1) \cdot p_2 \cdot C_2 + (1-p_1)(1-p_2) \cdot p_3 \cdot C_3 + \dots$$

Για τον k κόμβο θα ισχύει:

$$(1-p_1)(1-p_2) \dots (1-p_{k-1}) p_k C_k$$

Τα γνωρίσματα των κόμβων είναι εξαρτώμενα από το μονοπάτι. Για να γίνει κατανοητό, σκεφτείτε ένα πολύ μικρό πρόβλημα διαδρομής με 4 κόμβους, σύμφωνα με το σχήμα V:



ΣΧΗΜΑ V: Παράδειγμα απόδειξης εξάρτησης μονοπατιού από κατανομή του δικτύου

Ορίζοντας λοιπόν $x_j=1$ εάν το j είναι στο μονοπάτι, 0 αλλιώς, μπορούμε να εκφράσουμε το πρόβλημα με αντικείμενο την ελαχιστοποίηση του ρίσκου:

$$\min\{(p_1c_1)+(p_2c_2)x_2+[(1-p_1)x_1+(1-p_2)x_2](p_3c_3)+[(1-p_1)x_1+(1-p_2)x_2](p_4c_4)x_4$$

Με $x_1+x_2=1$,

$x_1+x_2= x_3+x_4$,

$x_3+x_4=1$,

$x_j=(0,1)$ για $j=1,\dots,4$

Η αντικειμενική συνάρτηση περιέχει προϊόντα από τις μεταβλητές απόφασης. Αυτό είναι απαραίτητο αφού οι πιθανότητες ατυχήματος των 3 και 4 εξαρτάται εάν το σχήμα επιλέξει το 1 ή το 2 στο πρώτο μέρος της διαδρομής. Παρ' όλα αυτά, είναι ανεπιθύμητο αφού δίνει αποτελέσματα σε ένα μη-γραμμικό πρόβλημα ακεραίων (NZP).

Αυτό το πρόβλημα μπορεί να ξαναγραφεί σαν ακέραιο γραμμικό (LIP) με χρήση υποκατάστασης των μεταβλητών. Το LIP θα έχει αρκετές περισσότερες μεταβλητές από το NIP και δεν προσφέρει αποτελεσματικό τρόπο επίλυσης του προβλήματος διαδρομών. Από την άλλη πλευρά, μια υπόθεση κοινή με το (3) (δηλαδή $p_i p_j \approx 0$, για κάθε i, j) είναι αρκετό να επιτύχει επιθυμητή μείωση της δυσκολίας.

Με χρήση της προσέγγισης παίρνω τελικά:

$$\min \sum_{j=1}^4 (P_i C_j) X_j \quad (5)$$

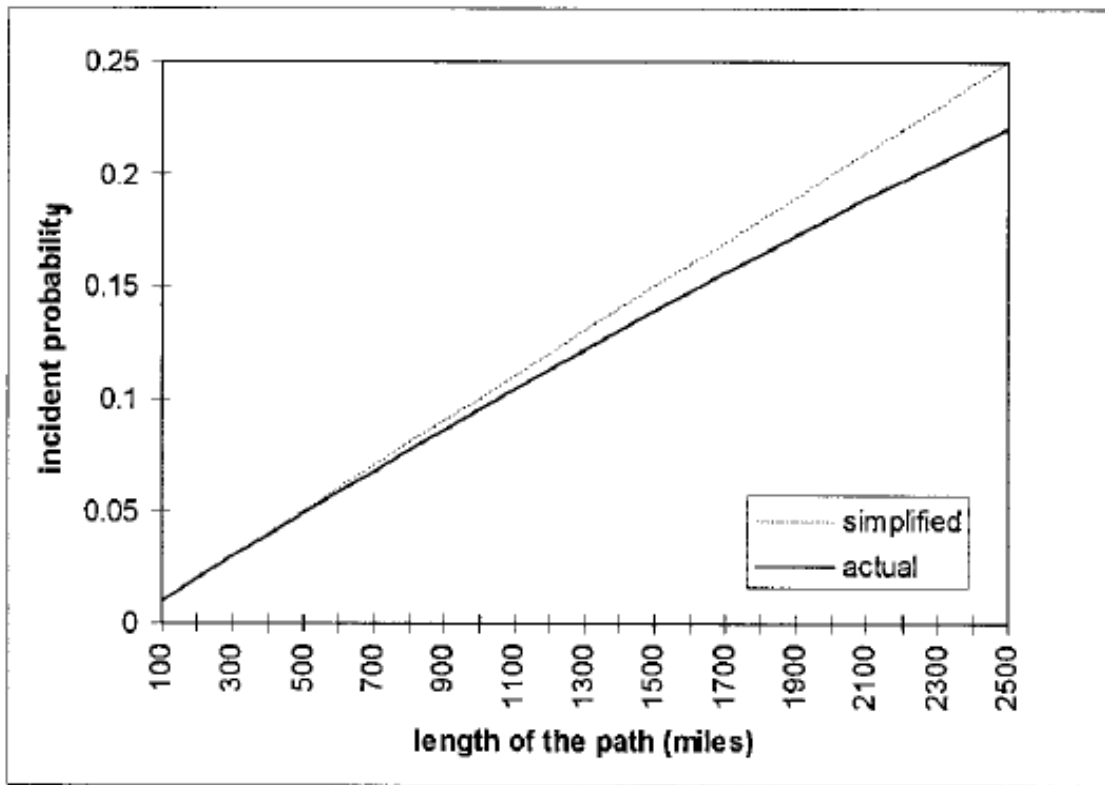
Έτσι το πρόβλημα ελαχιστοποίησης ρίσκου μπορεί (προσεγγιστικά) να λυθεί με χρήση συντομότερου αλγοριθμικού μονοπατιού. Η παραπάνω συνάρτηση (5) είναι απλώς το άθροισμα των αναμενόμενων τιμών των συνεπειών ατυχήματος.

Όπως επισημάνθηκε στους Erkut και Verter (1995^a), σχεδόν όλα τα άρθρα στην μεταφορά επικίνδυνων φορτίων χρησιμοποιούν αυτή την προσέγγιση χωρίς πάντα να το αναφέρουν ρητά. Μερικές φορές αυτή η προσέγγιση δηλώνεται σαν $(1-p_i) \approx 1$, για όλα τα i . Θέλουμε να εστιάσουμε στην προσέγγιση αυτή αφού είναι κρίσιμη η 'τιθάσευση' της ελαχιστοποίησης του προβλήματος ρίσκου. Πόσο μεγάλο όμως μπορεί να είναι όμως το λάθος από αυτή τη προσέγγιση; Αγνοώντας τους όρους υψηλής τάξης από την ανάλυση, υπερεκτιμάμε τις πιθανότητες ατυχήματος. Στην πραγματικότητα τόσο απλώνεται το ταξίδι όσο μεγαλύτερη είναι η υπερεκτίμηση.

Φανταστείτε ένα μονοπάτι, το οποίο αποτελείται από 2.500 μονάδες δρόμου (μίλια). Υποθέτουμε $p_i=p$ για όλα τα i . Το διάγραμμα δείχνει την πραγματική και προσεγγιστική πιθανότητα ατυχήματος. Η χρησιμοποιούμενη πιθανότητα ατυχήματος είναι 10^{-4} ανά μίλι και η απόσταση d , ποικίλει από 0 έως 2.500 μίλια. Η προσεγγιστική πιθανότητα είναι μια γραμμική συνάρτηση της απόστασης με μορφή pd και η πραγματική πιθανότητα μια καμπύλη συνάρτηση του d .

Το διάγραμμα προτείνει ότι τα παραγόμενα σφάλματα μπορεί να είναι σημαντικά. Παρ' όλα αυτά, η πραγματική πιθανότητα ατυχήματος είναι πολύ μικρότερη από 10^{-4} ανά μίλι. Στην πραγματικότητα όταν χρησιμοποιούμε πιθανότητα ατυχήματος 10^{-6} ανά μίλι, οι 2 συναρτήσεις γίνονται δυσδιάκριτες όταν απεικονίζονται. Με μοναδιαία

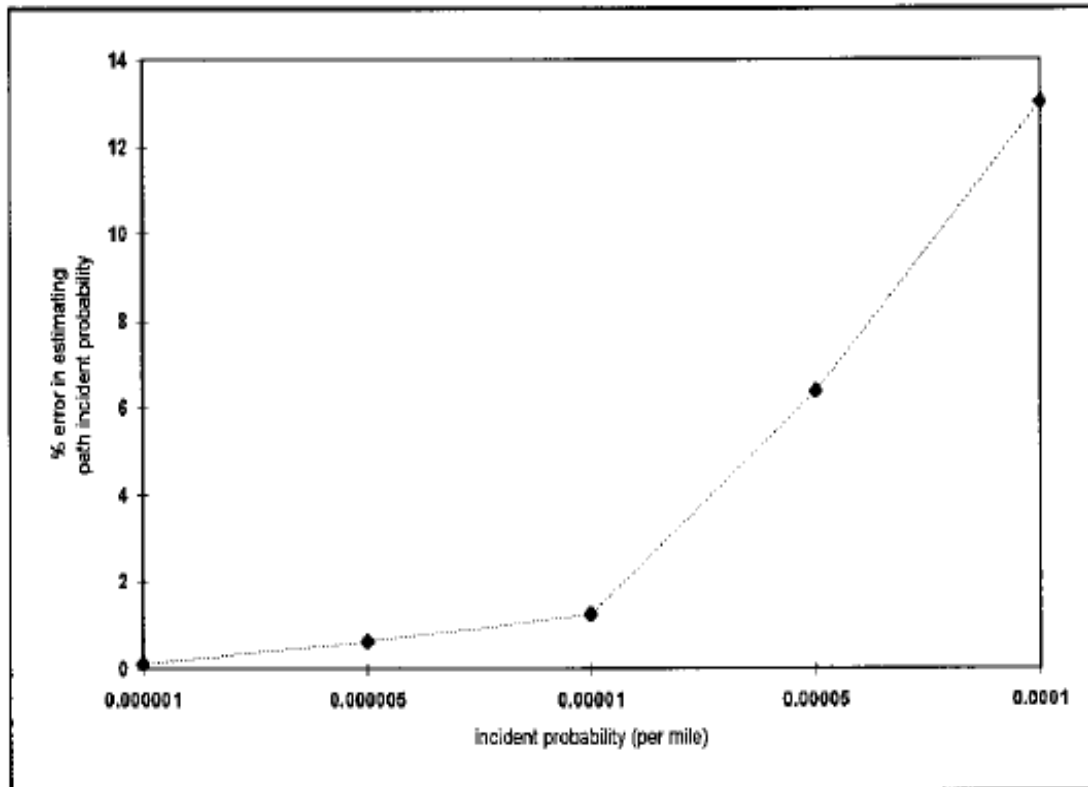
πιθανότητα ατυχήματος 10^{-6} , η πραγματική πιθανότητα σε μονοπάτι 2.500 μιλίων είναι 0,00249688 ενώ η γραμμική προσέγγιση αποδίδει 0,0025 (διαφορά της τάξης του 0.125%). Επιπλέον, το μέγιστο σφάλμα μοναδιαίας πιθανότητας είναι 0,25%. Ως εκ τούτου, φαίνεται πως τα παραγόμενα σφάλματα της προσέγγισης είναι αμελητέα για όλα τα μήκη διαδρομών και πιθανοτήτων ατυχημάτων. Επιπρόσθετα, το διάγραμμα III, δείχνει τα ποσοστιαία σφάλματα για πιθανότητες ατυχημάτων κάτω από 10^{-5} .



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ IV: Καμπύλες απλής και πραγματικής πιθανότητας συναρτήσεως της απόστασης

Στην πραγματικότητα η μεταφορά επικίνδυνων φορτίων είναι μια συνεχής δραστηριότητα και η πιθανότητα ατυχήματος θα πρέπει να ερμηνεύεται σαν 'ρυθμός ατυχήματος'. Το διακριτό πιθανοκρατικό μοντέλο υπολογίζει την πιθανότητα ύπαρξης ενός ατυχήματος κατά μήκος του μονοπατιού σαν:

$$p + (1-p) \cdot p + (1-p)^2 \cdot p + \dots + (1-p)^{2499} \cdot p$$



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ V: Καμπύλη ποσοστιαίου σφάλματος σε σχέση με την πιθανότητα ατυχήματος

Η παραπάνω πεπερασμένη γεωμετρική σειρά είναι ίση με $1-(1-p)^{2500}$. Εάν αυξήσουμε τις μονάδες δρόμου κατά συντελεστή k τότε παίρνουμε:

$$1-(1-\frac{p}{k})^{nk}$$

Για να υπολογίσουμε την ακριβή πιθανότητα πρέπει να πάρουμε το όριο της σειράς για $k \rightarrow \infty$, το οποίο είναι ίσο με:

$$1-e^{-pn}$$

Και εκφράζεται με το κάτωθι ανάπτυγμα Taylor:

$$pn - \frac{(pn)^2}{2!} + \frac{(pn)^3}{3!} + \dots$$

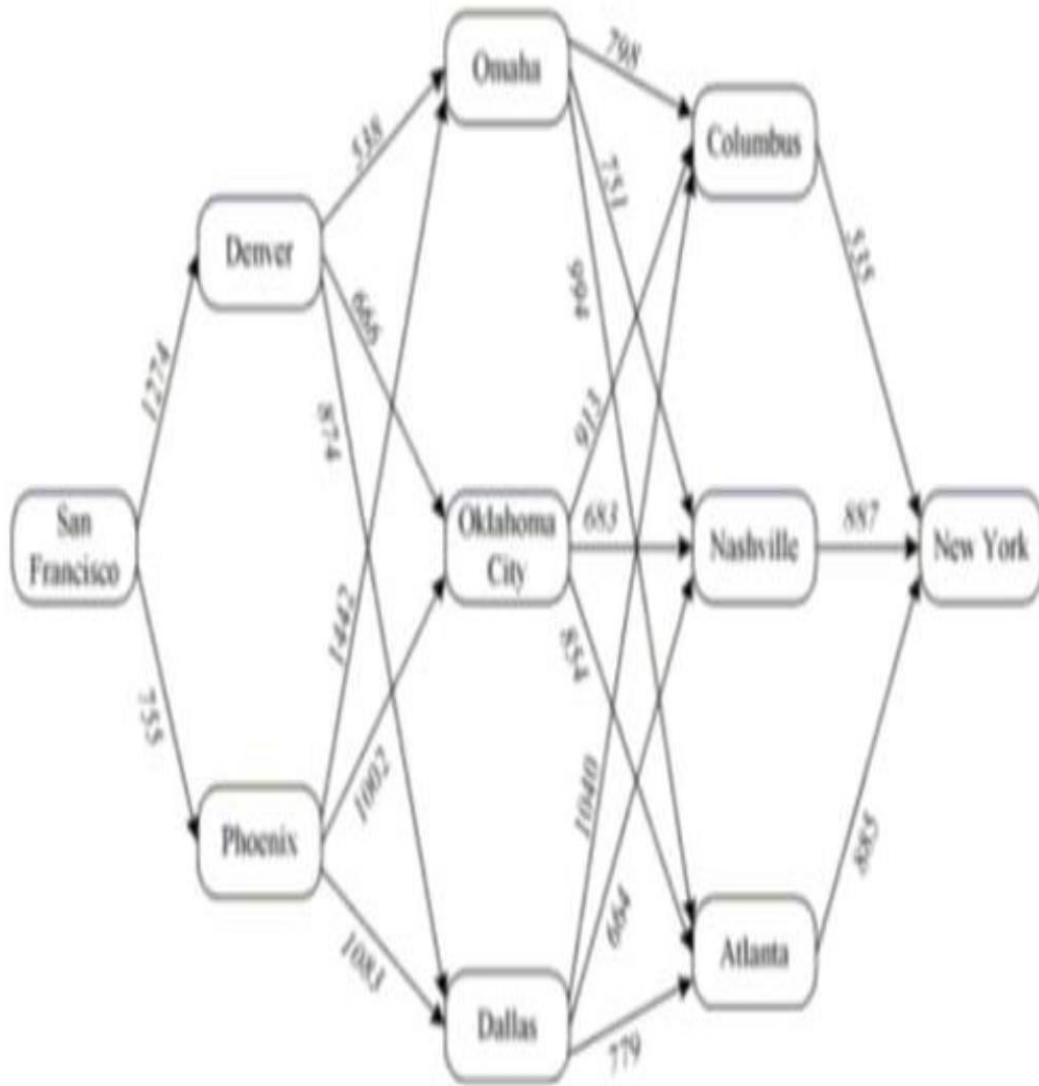
Συνοψίζοντας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η διακριτοποίηση δεν παράγει σημαντικά σφάλματα αφού η σχετική πιθανότητα ατυχήματος είναι πολύ μικρή.

Για τον λόγο αυτό θα εκφράσουμε το 'παραδοσιακό ρίσκο' για προκαθορισμένο επικίνδυνο φορτίο κατά μήκος μονοπατιού P σύμφωνα:

$$TR(P) = \sum_{i \in P} P_i C_i \quad (6)$$

Όπως έχει προαναφερθεί στην παρούσα εργασία έγινε χρήση του παραδοσιακού μοντέλου ρίσκου για να υπολογιστεί η βέλτιστη διαδρομή, με επιλογή του βέλτιστου ρίσκου και συνεπώς των μικρότερων συνεπειών στη διαδρομή για τη μεταφορά του

επικίνδυνου φορτίου. Το μοντέλο αναπτύχθηκε σε ένα δίκτυο 10 πόλεων , με αρχικό σημείο το SAN FRANCISCO και τελικό προορισμό τη NEW YORK. Το παρακάτω σχήμα VI, δείχνει το δίκτυο των πόλεων που μελετήθηκαν.



ΣΧΗΜΑ VI: Δίκτυο πόλεων με πιθανές διαδρομές για NEW YORK

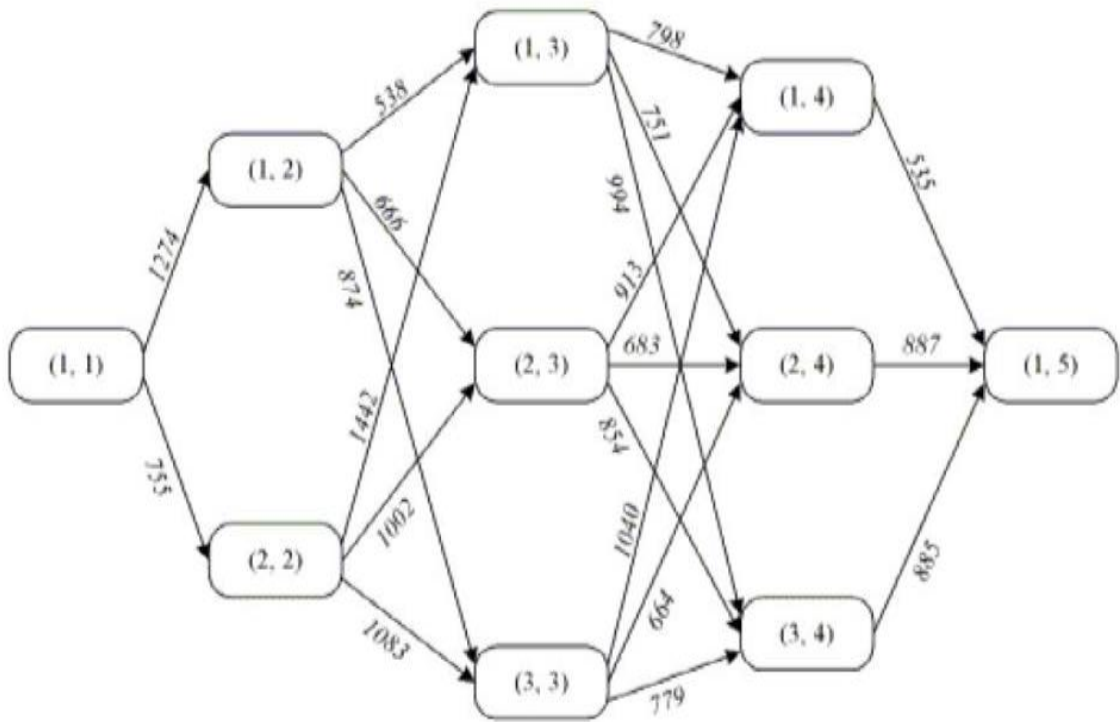
Σε παλαιότερη εργασία είχε ευρεθεί το βέλτιστο κόστος στο δίκτυο του σχήματος. Στην προκειμένη περίπτωση αντικαταστάθηκε το COST MATRIX με ένα αντίστοιχο RISK MATRIX και έγινε εύρεση της βέλτιστης διαδρομής, σύμφωνα με τους κάτωθι υπολογισμούς. Αξιοσημείωτο είναι πως με τη χρήση των MAPS από το <https://developer.here.com>, εξήχθησαν μέσω συντεταγμένων οι διαδρομές και οι κώδικες χρήσης αναλύονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

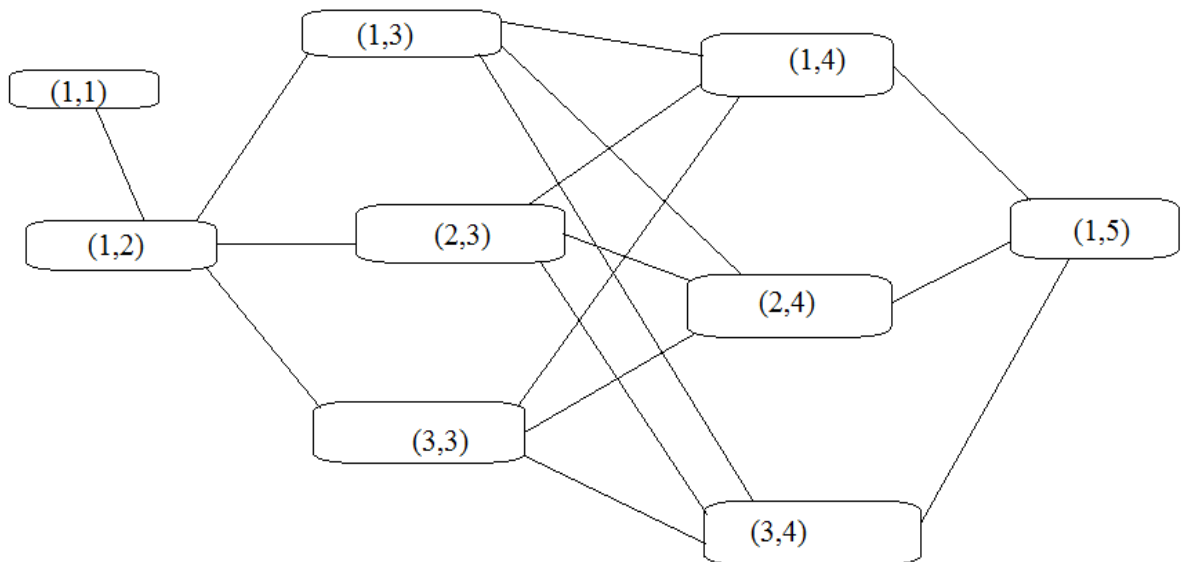
Σύμφωνα με το οδικό δίκτυο του σχήματος V, θα αναλύσουμε την μεταφορά ενός επικίνδυνου φορτίου (με φορτηγό) από το SAN FRANCISCO στην NEW YORK. Οι πιθανές διαδρομές και τα πραγματικά μίλια είναι αυτά που φαίνονται πάνω στο δίκτυο. Στο δίκτυο αυτό κάθε ακμή-τόξο είναι κατευθυνόμενο και δοθέντος του δικτύου, ενδιαφερόμαστε να καθορίσουμε τη διαδρομή με το μικρότερο ρίσκο (υπολογισμένο από το μοντέλο Erkut et al) από το αρχικό σημείο (SAN FRANCISCO) στον τελικό προορισμό (NEW YORK). Προφανώς η λύση του προβλήματος θα καθοριστεί με μια πλήρη απαρίθμηση όλων των πιθανών διαδρομών που ξεκινούν από το S.F. και τελειώνουν στη N.W. Εφ' όσον ο αριθμός των πιθανών διαδρομών σ' αυτό το συγκεκριμένο δίκτυο είναι ίσος με 18 ($=2 \times 3 \times 3$), η συνολική υπολογιστική προσπάθεια της συνολικής απαρίθμησης μπορεί να θεωρηθεί ως αποδεκτή. Ωστόσο, όσο ο αριθμός των πόλεων στο δίκτυο αυξάνεται ο αριθμός των πιθανών διαδρομών μεγαλώνει ραγδαία δημιουργώντας τη συνολική απαρίθμηση αυτών απαγορευτικά χρονοβόρα. Είναι καλύτερα να βρούμε πιο αποτελεσματικούς τρόπους για να καθορίσουμε την λύση του προβλήματος. Η βασική ιδέα είναι να προσπαθήσουμε να μετατρέψουμε την λύση του προβλήματος σε λύση μιας ακολουθίας αλληλένδετων υποπροβλημάτων. Επιπρόσθετα, στον υπολογισμό του ρίσκου για την κατανομή του πληθυσμού χρησιμοποιήθηκαν πίνακες κατανομής πληθυσμού από **'RESOURCE ON DOE TRANSPORTATION RISK ASSESSMENT'**.

Γενικά είναι βοηθητικό να απεικονίζουμε τις καταστάσεις και τα στάδια όπως παρακάτω. Φανταστείτε δηλαδή ένα σύστημα του οποίου η κατάσταση εξελίσσεται σε ένα δεδομένο σύνολο χρονικών περιόδων σύμφωνα με μια σειρά ενεργειών και ως υποθέσουμε ότι μια εικόνα αυτού του συστήματος λαμβάνεται σε κάθε περίοδο. Στη συνέχεια, κάθε χρονική περίοδος αντιστοιχεί σε ένα στάδιο και η εικόνα που λαμβάνεται σε ένα συγκεκριμένο στάδιο αντιστοιχεί με την κατάσταση του συστήματος σε αυτό το στάδιο. Για δική μας διευκόλυνση, θα πρέπει αρχικά να μετονομάσουμε τις πόλεις (ή κόμβους) του δικτύου. Η ιδέα είναι να αριθμήσουμε τις πόλεις από μια κατάσταση από την αφετηρία προς τον προορισμό. Έτσι το SAN FRANCISCO γίνεται ο κόμβος (1,1), το DENVER γίνεται ο κόμβος (1,2), το PHOENIX γίνεται ο κόμβος (2,2) και ούτω ο καθεξής.



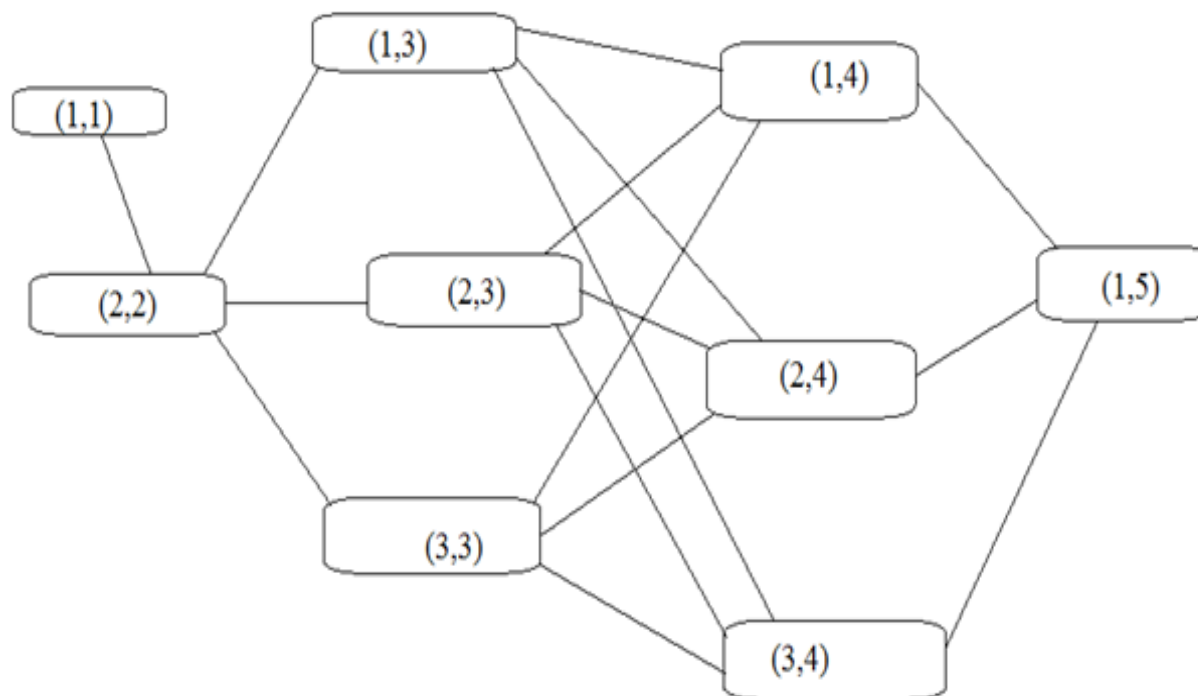
ΣΧΗΜΑ VII: Δίκτυο χωρισμένο σε κόμβους

ΣΤΑΔΙΟ 1



ΣΧΗΜΑ VIII: Διαχωρισμός του δικτύου σε **ΣΤΑΔΙΟ 1**

ΣΤΑΔΙΟ 2



ΣΧΗΜΑ ΙΧ: Διαχωρισμός δικτύου σε ΣΤΑΔΙΟ 2

Από την ανάλυση για τον υπολογισμό του ρίσκου, ο υπολογισμός του κάθε βήματος είναι άμεσα εξαρτώμενος από το προηγούμενο βήμα. Στην προκειμένη πάρθηκε αρχική οριακή συνθήκη στην πόλη του SAN FRANCISCO ως $R_1=0$ και συνεπώς η δεύτερη πόλη καθορίζει άμεσα τον υπολογισμό των τιμών του ρίσκου στις πιθανές διαδρομές και γι' αυτό έγινε και ο ανάλογος διαχωρισμός σε δυο στάδια.

Δεδομένου ότι ο αρχικός και τελικός προορισμός είναι δεδομένοι (SAN FRANCISCO και NEW YORK αντίστοιχα), παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες υπολογισμού ρίσκου και το αντίστοιχο διάγραμμα αθροιστικών κατανομών ρίσκου σε κάθε πόλη με άξονα x τις τιμές από 0 έως 4, για τις οποίες τα υπάρχει η αντιστοιχία αυτών είναι σύμφωνη με τα επιμέρους στάδια του σχήματος. Σημειωτέο, πως οι τιμές ρίσκου για τους κόμβους (1,2) και (2,2) είναι οι:
 $R_{(1,2)}=198,87$ και $R_{(2,2)}=85,84$.

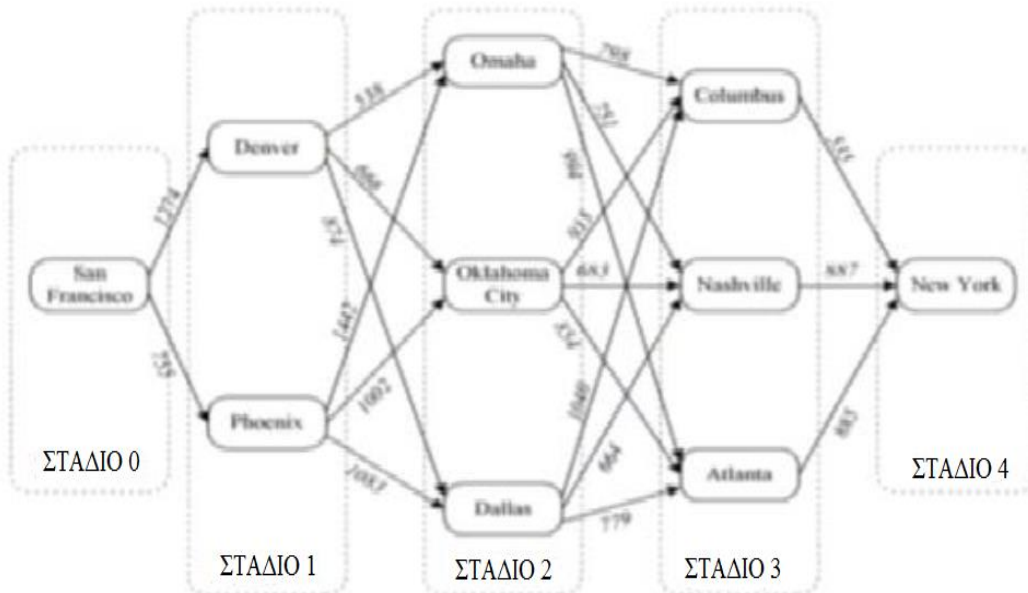
ΠΙΝΑΚΑΣ VI: Υπολογισμός Ρίσκου για **ΣΤΑΔΙΟ 1** (SAN FRANC.-DENVER προς NEW YORK)

	<i>COLUMBUS</i>	<i>NASHVILLE</i>	<i>ATLANTA</i>
<i>OMAHA</i>	789,62	1021,83	1039,14
<i>OKLAHOMA</i>	752,7	1039,63	1024,18
<i>DALLAS</i>	835,5	1046,84	1090,6

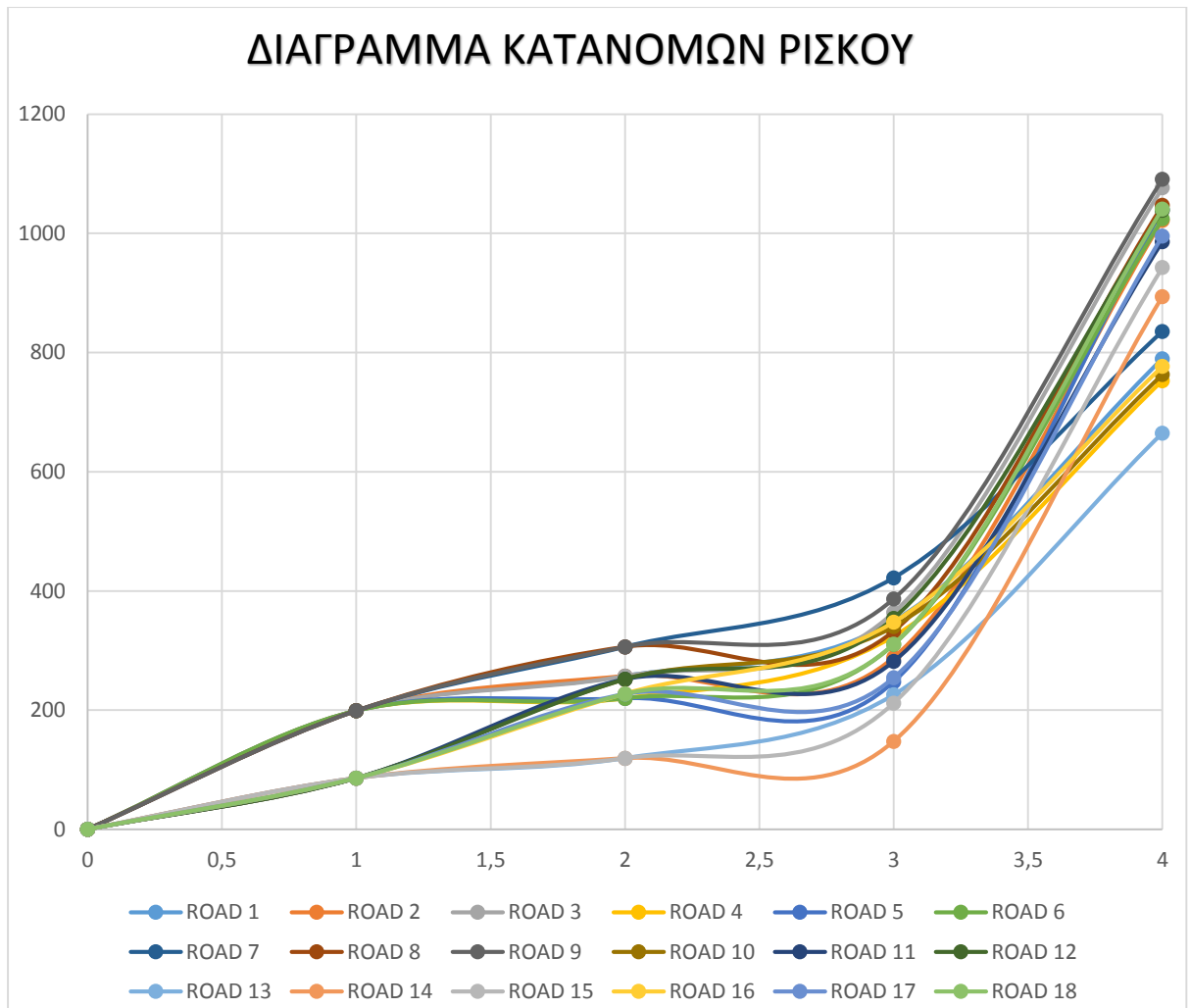
ΠΙΝΑΚΑΣ VII: Υπολογισμός ρίσκου για **ΣΤΑΔΙΟ 2** (SAN FRANC.-PHOENIX προς NEW YORK)

	<i>COLUMBUS</i>	<i>NASHVILLE</i>	<i>ATLANTA</i>
<i>OMAHA</i>	763,15	986,14	1038,68
<i>OKLAHOMA</i>	664,7	893,94	942,6
<i>DALLAS</i>	776,18	995,45	1040,84

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, οι πιθανές διαδρομές είναι 18. Ακολουθεί παράθεση διαγράμματος της αθροιστικής κατανομής του ρίσκου για έκαστη διαδρομή, για τον λόγο αυτό στο ΣΧΗΜΑ IX, γίνεται διαχωρισμός του δικτύου σε στάδια, τα οποία στο ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ V, απεικονίζονται αριθμητικά στον άξονα x.



ΣΧΗΜΑ X: Διάγραμμα διαχωρισμού σε επιμέρους ΣΤΑΔΙΑ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ VI: Αθροιστικές Κατανομές Ρίσκου

Σύμφωνα με το διάγραμμα και των εξαχθέντων τιμών ρίσκου κάθε διαδρομής, παρατηρούμε πως η διαδρομή 13 (SAN FRANCISCO→PHOENIX→OKLAHOMA CITY→COLUMBUS→NEW YORK), ενέχει τις ελάχιστες συνέπειες και κατά συνέπεια ρίσκο το οποίο είναι ίσο με την τιμή 664,70. Για τον υπολογισμό των τιμών με τη χρήση του μοντέλου Erhan Erkut, προτιμήθηκε η αριθμητική τιμή πιθανότητας 10^{-4} . Με χρήση των MAPS <https://developer.here.com> στο σχήμα X φαίνεται η ακριβής βέλτιστη διαδρομή με χρήση τόσο συντεταγμένων όσο και των αντίστοιχων παραμέτρων για μεταφορά με φορτηγό.

Αναλυτικά οι πιθανές διαδρομές:

ΠΙΝΑΚΑΣ VIII: Πιθανές διαδρομές μεταφοράς

ROAD	ORIGIN	1st CITY	2nd CITY	3rd CITY	DESTINATION
1	SAN FRANC.	DENVER	OMAHA	COLUMBUS	NEW YORK
2	SAN FRANC.	DENVER	OMAHA	NASHVILLE	NEW YORK
3	SAN FRANC.	DENVER	OMAHA	ATLANTA	NEW YORK
4	SAN FRANC.	DENVER	OKLAHOMA	COLUMBUS	NEW YORK
5	SAN FRANC.	DENVER	OKLAHOMA	NASHVILLE	NEW YORK
6	SAN FRANC.	DENVER	OKLAHOMA	ATLANTA	NEW YORK
7	SAN FRANC.	DENVER	DALLAS	COLUMBUS	NEW YORK
8	SAN FRANC.	DENVER	DALLAS	NASHVILLE	NEW YORK
9	SAN FRANC.	DENVER	DALLAS	ATLANTA	NEW YORK
10	SAN FRANC.	PHOENIX	OMAHA	COLUMBUS	NEW YORK
11	SAN FRANC.	PHOENIX	OMAHA	NASHVILLE	NEW YORK
12	SAN FRANC.	PHOENIX	OMAHA	ATLANTA	NEW YORK
13	SAN FRANC.	PHOENIX	OKLAHOMA	COLUMBUS	NEW YORK
14	SAN FRANC.	PHOENIX	OKLAHOMA	NASHVILLE	NEW YORK
15	SAN FRANC.	PHOENIX	OKLAHOMA	ATLANTA	NEW YORK
16	SAN FRANC.	PHOENIX	DALLAS	COLUMBUS	NEW YORK
17	SAN FRANC.	PHOENIX	DALLAS	NASHVILLE	NEW YORK
18	SAN FRANC.	PHOENIX	DALLAS	ATLANTA	NEW YORK

Στο σχήμα X, η βέλτιστη των συνεπειών διαδρομή.



ΣΧΗΜΑ X: Βέλτιστη διαδρομή ελαχίστων συνεπειών στο DEVELOPER MAPS

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μεταφορά επικίνδυνων προϊόντων είναι ένα σημαντικό πρόβλημα, το οποίο χρήζει ιδιαίτερης φροντίδας και προσοχής καθώς είναι διαφορετικό από τις τακτικές μεταφορικές υπηρεσίες, γιατί τα επικίνδυνα υλικά μπορεί να 'βλάψουν' ανθρώπους, περιουσία και περιβάλλον, εάν 'να ατύχημα συμβεί. Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση του 'παραδοσιακού ρίσκου' από το μοντέλο Erkut et al, και αναζητήθηκε η βέλτιστη διαδρομή συνεπειών σε ένα δίκτυο πόλεων στις Η.Π.Α.

Στο παρελθόν είχε αναζητηθεί αριστοποίηση κόστους μεταφοράς του ίδιου δικτύου και η βέλτιστη διαδρομή είχε βρεθεί η επιλογή No.1 (SAN FRANCISCO→DENVER→OMAHA→COLUMBUS). Στην εργασία αναζητήθηκαν όλα τα ρίσκα για τις 18 πιθανές διαδρομές και βρέθηκε πως η βέλτιστη συνεπειών είναι η επιλογή No. 13 (SAN FRANCISCO→PHOENIX→OKLAHOMA CITY→COLUMBUS→NEW YORK).

Αυτό συνοψίζει πως το ρίσκο και το κόστος είναι δυο αντίθετες έννοιες, που δυστυχώς συγχέονται και στην σύγχρονη κοινωνία που ζούμε πολλοί είναι αυτοί που προτιμούν αναλύσεις κόστους για μεταφορά επικίνδυνων φορτίων αγνοώντας πλήρως το ρίσκο και τις συνέπειες της μεταφοράς επικίνδυνων υλικών.

Αυτή η περιοχή χρήζει ερευνητικού ενδιαφέροντος γιατί οι συνέπειες των επικίνδυνων φορτίων μπορεί να είναι καταστροφικές τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ADR-European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, 2015.
2. Abbas Mahmadaadi, *Developing a Chaotic-Simulation Based Model for Ranking High Selected Network links in Hazardous Material Transportation*, Hindawi publishing Corporation, 2014.
3. Abkowitz, M.D., Lepofsky, M. & Cheng p. (1992), *Selecting Criteria for Designating Hazardous materials Highway Routes*, transportation Research Record 1333, 30-35.
4. Christopher Groer, *Parallel and Serial Algorithms for Vehicle Routing Problems*, University of Maryland, 2008.
5. D. F. Brown, W. E Dunn, and A. J. Policastro, *A National Risk Assessment for Selected Hazardous Materials Transportation*, U.S. Department of Transportation, December 2000.
6. Erkut, E. & Verter, V. (1995): *Hazardous Materials Logistics*, Z. Drezner (Ed.), *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*, Springer-Verlag.
7. Erkut, E. & Verter, V. (1998): *Modeling of Transport Risk for Hazardous Materials*, *Operations Research* 46, 625-642.
8. Glickman, T.S. Erkut, E., Zschoke, M. S. (2007), *The Cost and Risk Impacts of Rerouting Railroad Shipments of Hazardous Materials*, *Accident Analysis and Prevention* 39, 1015-1025.
9. J. Warner, A. Protopapas, D. Jasek, J. Overman, *Management of Hazardous Materials Transportation: Literature Summary*, Texas Transportation Institute, 2008.
10. Nicholas Lownes and Ashrafur Rahman, *Risk Assessment of Hazardous Material Transportation Routes in the city of New Haven*, University of Connecticut, 2013.
11. MAPS FOR DEVELOPERS, JavaScript API:
<https://developer.here.com>.
12. Patrick, D., Eagen, *Views of Risk and Highway Transportation of Hazardous Materials*, U.S. Department of Transportation, 1981.
13. *RESOURCE HANDBOOK ON DOE TRANSPORTATION RISK ASSESSMENT*, U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, NATIONAL TRANSPORTATION PROGRAM, 2002.
14. ReVelle, C., Cohon, J., & Karwan, M. H. (1993), *Simultaneous Siting and Routing in the Disposal of Hazardous Wastes*, *Transportation Science* 25, 138-145.
15. Sivakumar, R.A., Batta, R., & Karwan, M.H. (1993), *A Network-based Model for Transporting Extremely Hazardous Materials*, *Operations Research Letters* 13, 85-93.
16. Terje Aven, *Foundations of Risk Analysis – A knowledge and Decision-Oriented Perspective*, Wiley, 2003.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

- ΚΩΔΙΚΑΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ DEVELOPER-MAPS ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗ

```
# Remove .cit and use the production environment when ready.
# This example is using demo credentials. Please replace
# {YOUR_APP_CODE} and {YOUR_APP_ID} in your own code

curl \
  -X GET \
  -H 'Content-Type: *' \
  --get 'https://image.maps.cit.api.here.com/mia/1.6/route' \
  --data-urlencode 'r0=37.7634,-122.4384, 33.4299,-
112.1146,35.4720, -97.5217,39.9668,-83.0963,40.6754,-74.2007' \
  --data-urlencode 'r1=40.6754,-74.2007' \
  --data-urlencode 'm0=37.7634,-122.4384, 33.4299,-
112.1146,35.4720, -97.5217,39.9668,-83.0963,40.6754,-74.2007' \
  --data-urlencode 'm1=37.7634,-122.4384, 33.4299,-
112.1146,35.4720, -97.5217,39.9668,-83.0963,40.6754,-74.2007' \
  --data-urlencode 'lc0=00ff00' \
  --data-urlencode 'sc0=000000' \
  --data-urlencode 'lw0=3' \
  --data-urlencode 'lc1=ff0000' \
  --data-urlencode 'sc1=0000ff' \
  --data-urlencode 'lw1=3' \
  --data-urlencode 'w=700' \
  --data-urlencode 'app_id={YOUR_APP_ID}' \
  --data-urlencode 'app_code={YOUR_APP_CODE}'
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

- ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ POINT BY POINT ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ DEVELOPER.HERE.COM

```
// Remove .cit and use the production environment when ready.
// This example is using demo credentials. Please replace
// {YOUR_APP_CODE} and {YOUR_APP_ID} in your own code

$.ajax({
  url: 'https://image.maps.cit.api.here.com/mia/1.6/route',
  type: 'GET',
  data: {
    r0: '37.7634,-122.4384, 33.4299,-112.1146,35.4720, -
97.5217,39.9668,-83.0963,40.6754,-74.2007',
    r1: '40.6754,-74.2007',
    m0: '37.7634,-122.4384, 33.4299,-112.1146,35.4720, -
97.5217,39.9668,-83.0963,40.6754,-74.2007',
    m1: '37.7634,-122.4384, 33.4299,-112.1146,35.4720, -
97.5217,39.9668,-83.0963,40.6754,-74.2007',
    lc0: '00ff00',
    sc0: '000000',
    lw0: '3',
    lc1: 'ff0000',
    sc1: '0000ff',
    lw1: '3',
    w: '700',
    app_id: '{YOUR_APP_ID}',
    app_code: '{YOUR_APP_CODE}'

  success: function (data) {
    alert(JSON.stringify(data));
  }
});
```


- SAN FRANCISCO→PHOENIX (ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΜΙΛΙΑ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ)-ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΧΡΗΣΗΣ DEVELOPER JAVASCRIPT

```
"response": {
  "metaInfo": {
    "timestamp": "2017-02-07T10:17:57Z",
    "mapVersion": "8.30.68.151",
    "moduleVersion": "7.2.201705-103081",
    "interfaceVersion": "2.6.29"
  },
  "route": [
    {
      "waypoint": [
        {
          "linkId": "-948967218",
          "mappedPosition": {
            "latitude": 37.7633515,
            "longitude": -122.4384107
          },
          "originalPosition": {
            "latitude": 37.7634,
            "longitude": -122.4384
          },
          "type": "stopOver",
          "spot": 0.2207792,
          "sideOfStreet": "left",
          "mappedRoadName": "States St",
          "label": "States St",
          "shapeIndex": 0
        },
        {
          "linkId": "-762410626",
          "mappedPosition": {
            "latitude": 33.4295833,
            "longitude": -112.1146
          },
          "originalPosition": {
            "latitude": 33.4299,
            "longitude": -112.1146
          }
        }
      ]
    }
  ]
}
```

```

    },
    "type": "stopOver",
    "spot": 0.9735099,
    "sideOfStreet": "right",
    "mappedRoadName": "W Durango St",
    "label": "W Durango St",
    "shapeIndex": 4226
  }
],
"mode": {
  "type": "fastest",
  "transportModes": [
    "truck"
  ],
  "trafficMode": "disabled",
  "feature": []
},
"leg": [
  {
    "start": {
      "linkId": "-948967218",
      "mappedPosition": {
        "latitude": 37.7633515,
        "longitude": -122.4384107
      },
    },
    "originalPosition": {
      "latitude": 37.7634,
      "longitude": -122.4384
    },
    "type": "stopOver",
    "spot": 0.2207792,
    "sideOfStreet": "left",
    "mappedRoadName": "States St",
    "label": "States St",
    "shapeIndex": 0
  },
  {
    "end": {
      "linkId": "-762410626",
      "mappedPosition": {

```

```

        "latitude": 33.4295833,
        "longitude": -112.1146
    },
    "originalPosition": {
        "latitude": 33.4299,
        "longitude": -112.1146
    },
    "type": "stopOver",
    "spot": 0.9735099,
    "sideOfStreet": "right",
    "mappedRoadName": "W Durango St",
    "label": "W Durango St",
    "shapeIndex": 4226
},
"length": 1213914,
"travelTime": 51667,
"maneuver": [
    {
        "position": {
            "latitude": 37.7633515,
            "longitude": -122.4384107
        },
        "instruction": "Head toward <span
class=\"toward_street\">Castro St</span> on <span
class=\"street\">States St</span>. <span class=\"distance-
description\">Go for <span class=\"length\">276 m</span>.</span>",
        "travelTime": 103,
        "length": 276,
        "id": "M1",
        "_type": "PrivateTransportManeuverType"
    },
    {
        "position": {
            "latitude": 37.7634645,
            "longitude": -122.4352777
        },
        "instruction": "Turn <span
class=\"direction\">left</span> onto <span class=\"next-
street\">Castro St</span>. <span class=\"distance-
description\">Go for <span class=\"length\">708 m</span>.</span>",
        "travelTime": 188,

```

```
"length": 708,  
"id": "M2",  
"_type": "PrivateTransportManeuverType",
```

```
{  
  "position": {  
    "latitude": 37.7697408,  
    "longitude": -122.4362433  
  },  
  "instruction": "Turn   "travelTime": 46,  
  "length": 105,  
  "id": "M3",  
  "_type": "PrivateTransportManeuverType"  
},  
{  
  "position": {  
    "latitude": 37.7699018,  
    "longitude": -122.4350631  
  },  
  "instruction": "Turn   "travelTime": 51,  
  "length": 178,  
  "id": "M4",  
  "_type": "PrivateTransportManeuverType"  
},  
{  
  "position": {  
    "latitude": 37.7714789,  
    "longitude": -122.435385  
  },  
  "instruction": "Turn   "travelTime": 295,
```

```
"length": 1031,  
"id": "M5",
```

```
  "_type": "PrivateTransportManeuverType"  
},  
{  
  "position": {  
    "latitude": 37.7729702,  
    "longitude": -122.42383  
  },  
  "instruction": "Turn   "travelTime": 35,  
  "length": 126,  
  "id": "M6",  
  "_type": "PrivateTransportManeuverType"  
},  
{  
  "position": {  
    "latitude": 37.7718759,  
    "longitude": -122.4234653  
  },  
  "instruction": "Continue on   "travelTime": 112,  
  "length": 1354,  
  "id": "M7",  
  "_type": "PrivateTransportManeuverType"  
},  
{  
  "position": {  
    "latitude": 37.7690542,  
    "longitude": -122.4092495  
  },  
  "instruction": "Take the 
```

```

class=\ "distance-description\ ">Go for <span class=\ "length\ ">12.1
km</span>.</span>",
    "travelTime": 693,
    "length": 12052,
    "id": "M8",
    "_type": "PrivateTransportManeuverType"
},
{
    "position": {
        "latitude": 37.8252411,
        "longitude": -122.3045683
    },
    "instruction": "Take the exit toward <span
class=\ "sign\ "><span lang=\ "en\ ">CA-24</span></span>
lang=\ "en\ ">Hayward-Stockton</span></span> onto <span
class=\ "number\ ">I-580 E</span> <span class=\ "next-
street\ ">(MacArthur Fwy)</span>. <span class=\ "distance-
description\ ">Go for <span class=\ "length\ ">102 km</span>.</span>",
    "travelTime": 4516,
    "length": 101817,
    "id": "M9",
    "_type": "PrivateTransportManeuverType"
},
{
    "position": {
        "latitude": 37.5899899,
        "longitude": -121.3326752
    },
    "instruction": "Keep <span
class=\ "direction\ ">left</span> onto <span class=\ "number\ ">I-
5</span>. <span class=\ "distance-description\ ">Go for <span
class=\ "length\ ">361 km</span>.</span>",
    "travelTime": 14921,
    "length": 361234,
    "id": "M10",
    "_type": "PrivateTransportManeuverType"
},
{
    "position": {
        "latitude": 35.0191569,
        "longitude": -118.9580941
    },
    "instruction": "Keep <span
class=\ "direction\ ">right</span> onto <span class=\ "number\ ">I-5-

```

```

TRUCK-BYP</span> toward <span class=\"sign\"><span lang=\"en\">I-
5</span></span>. <span class=\"distance-description\">Go for <span
class=\"length\">758 m</span>.</span>,
    "travelTime": 39,
    "length": 758,
    "id": "M11",
    "_type": "PrivateTransportManeuverType"
  },
  {
    "position": {
      "latitude": 35.0128269,
      "longitude": -118.9549935
    },
    "instruction": "Keep <span
class=\"direction\">right</span> onto <span class=\"number\">I-5-
TRUCK-BYP</span>. <span class=\"distance-description\">Go for <span
class=\"length\">872 m</span>.</span>",
    "travelTime": 44,
    "length": 872,
    "id": "M12",
    "_type": "PrivateTransportManeuverType"
  },
  {
    "position": {
      "latitude": 35.0055313,
      "longitude": -118.9514852
    },
    "instruction": "Keep <span
class=\"direction\">right</span> onto <span class=\"number\">I-
5</span>. <span class=\"distance-description\">Go for <span
class=\"length\">92.3 km</span>.</span>",
    "travelTime": 4097,
    "length": 92348,
    "id": "M13",
    "_type": "PrivateTransportManeuverType"
  },
  {
    "position": {
      "latitude": 34.3398821,
      "longitude": -118.518877
    },
    "instruction": "Take the exit toward <span
class=\"sign\"><span lang=\"en\">I-5 S</span></span> onto <span

```

```

class=\ "number\ ">I-5-TRUCK</span>. <span class=\ "distance-
description\ ">Go for <span class=\ "length\ ">3.5 km</span>.</span>",
    "travelTime": 175,
    "length": 3501,
    "id": "M14",
    "_type": "PrivateTransportManeuverType"
},
{
    "position": {
        "latitude": 34.3192184,
        "longitude": -118.4940827
    },
    "instruction": "Take the <span
class=\ "direction\ ">left</span> exit toward <span
class=\ "sign\ "><span lang=\ "en\ ">Pasadena</span></span> onto <span
class=\ "number\ ">I-210 E</span> <span class=\ "next-street\ ">(Foothill
Fwy)</span>. <span class=\ "distance-description\ ">Go for <span
class=\ "length\ ">71.4 km</span>.</span>",
    "travelTime": 3288,
    "length": 71428,
    "id": "M15",
    "_type": "PrivateTransportManeuverType"
},
{
    "position": {
        "latitude": 34.1210032,
        "longitude": -117.8324783
    },
    "instruction": "Continue on <span
class=\ "number\ ">CA-210</span> <span class=\ "next-street\ ">(Foothill
Fwy)</span>. <span class=\ "distance-description\ ">Go for <span
class=\ "length\ ">65.6 km</span>.</span>",
    "travelTime": 2914,
    "length": 65646,
    "id": "M16",
    "_type": "PrivateTransportManeuverType"
},
{
    "position": {
        "latitude": 34.0730989,
        "longitude": -117.2008717
    },
    "instruction": "Take <span
class=\ "direction\ ">left</span> exit <span class=\ "exit\ ">85B</span>

```



```

toward <span class=\"sign\"><span lang=\"en\">Indio</span></span>
onto <span class=\"number\">I-10 E</span> <span class=\"next-
street\">(San Bernardino Fwy)</span>. <span class=\"distance-
description\">Go for <span class=\"length\">266 km</span>.</span>",
    "travelTime": 11256,
    "length": 266317,
    "id": "M17",
    "_type": "PrivateTransportManeuverType"
  },
  {
    "position": {
      "latitude": 33.6046135,
      "longitude": -114.5308506
    },
    "instruction": "Continue on <span class=\"number\">I-
10</span>. <span class=\"distance-description\">Go for <span
class=\"length\">230 km</span>.</span>",
    "travelTime": 8604,
    "length": 229578,
    "id": "M18",
    "_type": "PrivateTransportManeuverType"
  },
  {
    "position": {
      "latitude": 33.4617162,
      "longitude": -112.1150601
    },
    "instruction": "Take exit <span
class=\"exit\">143B</span> toward <span class=\"sign\"><span
lang=\"en\">US-60 E</span>/<span lang=\"en\">I-10-TRUCK
ROUTE</span></span> onto <span class=\"number\">I-17 S</span> <span
class=\"next-street\">(Arizona Veterans Memorial Hwy)</span>. <span
class=\"distance-description\">Go for <span class=\"length\">3.3
km</span>.</span>",
    "travelTime": 176,
    "length": 3340,
    "id": "M19",
    "_type": "PrivateTransportManeuverType"
  },
  {
    "position": {
      "latitude": 33.4358597,
      "longitude": -112.1082473
    },

```

```

      "instruction": "Take exit <span
class=\"exit\">197</span> toward <span class=\"sign\"><span
lang=\"en\">Durango St</span></span> <span lang=\"en\">19th
Ave</span></span> onto <span class=\"next-street\">S Black Canyon
Fwy</span>. <span class=\"distance-description\">Go for <span
class=\"length\">537 m</span>.</span>",
      "travelTime": 43,
      "length": 537,
      "id": "M20",
      "_type": "PrivateTransportManeuverType"
    },
    {
      "position": {
        "latitude": 33.4310532,
        "longitude": -112.108655
      },
      "instruction": "Keep <span
class=\"direction\">right</span> onto <span class=\"next-street\">S
23rd Ave</span>. <span class=\"distance-description\">Go for <span
class=\"length\">108 m</span>.</span>",
      "travelTime": 13,
      "length": 108,
      "id": "M21",
      "_type": "PrivateTransportManeuverType"
    },
    {
      "position": {
        "latitude": 33.4300768,
        "longitude": -112.1086335
      },
      "instruction": "Turn <span
class=\"direction\">right</span> onto <span class=\"next-street\">W
Durango St</span>. <span class=\"distance-description\">Go for <span
class=\"length\">600 m</span>.</span>",
      "travelTime": 58,
      "length": 600,
      "id": "M22",
      "_type": "PrivateTransportManeuverType"
    },
    {
      "position": {
        "latitude": 33.4295833,
        "longitude": -112.1146

```

```

    },
    "instruction": "Arrive at <span class=\"street\">W
Durango St</span>. Your destination is on the right.",
    "travelTime": 0,
    "length": 0,
    "id": "M23",
    "_type": "PrivateTransportManeuverType"
  }
]
}
],
"summary": {
  "distance": 1213914,
  "trafficTime": 52069,
  "baseTime": 51667,
  "flags": [
    "tollroad",
    "tunnel",
    "motorway"
  ],
  "text": "The trip takes <span class=\"length\">1214
km</span> and <span class=\"time\">14:21 h</span>.",
  "travelTime": 51667,
  "_type": "RouteSummaryType"
}
}
],
"language": "en-us"
}
}

```