



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΒΙΩΣΙΜΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

του

Μπούρα Ιωάννη

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑΣ: ΛΟΥΚΑΣ ΤΣΙΡΩΝΗΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2022

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρούμε, ότι οι οικονομίες σε παγκόσμια κλίμακα δεν εξαρτώνται αποκλειστικά από την παραγωγή των προϊόντων και των υπηρεσιών, αλλά και από τον τρόπο διανομής τους στον τελικό καταναλωτή. Με αυτό τον τρόπο, το αποτύπωμα του κάθε προϊόντος και της κάθε υπηρεσίας στο περιβάλλον υπολογίζεται από τον τρόπο παραγωγής του και από τη διαδικασία διοχέτευσής του στην αγορά.

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκαν τρόποι βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας με βιώσιμα κριτήρια, με απώτερο στόχο τη μείωση των συνολικών εκπομπών CO₂ και ανάπτυξη του αισθήματος εταιρικής κοινωνικής ευθύνης προς την κοινωνία.

Αρχικά αναλύεται η έννοια της βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας και οι παράγοντες που τη διέπουν και ο τρόπος που μπορεί να βελτιστοποιηθεί με τα συγκεκριμένα κριτήρια. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένα Case Studies, τα οποία παρουσιάζουν καινοτομίες την προηγούμενης δεκαετίας σε χώρες που ξεχώρισαν και έχουν μπει στο λογική της βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας και τις τάσεις της σύγχρονης αγοράς, οι οποίες αναφέρονται στην ψηφιοποίηση και την άμεση μετάδοση της πληροφορίας σε όλους τους εμπλεκόμενους παράγοντες της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Τέλος, αναπτύσσεται ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού, για τη μείωση του κόστους της εφοδιαστικής αλυσίδας και τη μείωση των εκπομπών CO₂, το οποίο περιέχει περιορισμούς για μεταβλητές όπως ο χρόνος διατήρησης ευπαθών προϊόντων, η χωρητικότητα των κέντρων διανομής και η μέγιστη επιτρεπτή ποσότητα CO₂, που μπορεί να εκλυθεί στο περιβάλλον.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|-----|
| Περίληψη..... | ii |
| Περιεχόμενα..... | iii |
| Κατάλογος σχημάτων..... | iv |
| Κατάλογος πινάκων..... | iv |
| Κατάλογος εικόνων..... | iv |
| Εισαγωγή..... | 1 |
| 1 Σχεδιασμός διαχείρισης βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας..... | 2 |
| 1.1 Βασικές έννοιες και εξελικτική πορεία αλυσίδας εφοδιασμού..... | 2 |
| 1.2 Η έννοια των Logistics..... | 5 |
| 1.3 Σύγχρονες απαιτήσεις: περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική βιωσιμότητα..... | 8 |
| 1.3.1 Βιωσιμότητα εφοδιαστικής αλυσίδας: Κοινωνική..... | 9 |
| 1.3.2 Βιωσιμότητα εφοδιαστικής αλυσίδας: Περιβαλλοντική..... | 9 |
| 1.3.3 Βιωσιμότητα εφοδιαστικής αλυσίδας: Χρηματοοικονομική..... | 10 |
| 1.4 Βελτιστοποίηση διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας..... | 11 |
| 1.5 Πλαίσιο ανάπτυξης μοντέλων βελτιστοποίησης βιώσιμης αλυσίδας εφοδιασμού..... | 13 |
| 1.6 Μοντέλα-αλγόριθμοι βελτιστοποίησης αλυσίδας εφοδιασμού..... | 14 |
| 2 Case Studies..... | 18 |
| 2.1 Χρήση μοντέλων βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων σε Κίνα, Γερμανία και Πολωνία..... | 18 |
| 2.1.1 Κίνα..... | 18 |
| 2.1.2 Γερμανία..... | 21 |
| 2.1.3 Πολωνία..... | 24 |
| 2.2 Η περίπτωση της AEOLIX..... | 25 |
| 2.3 Μοντέλο εφαρμογής Dynamic Gapper..... | 29 |
| 3 Ανάπτυξη γραμμικού μοντέλου βελτιστοποίησης βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας..... | 31 |
| 3.1 Μαθηματικό Μοντέλο..... | 31 |
| 3.2 Αριθμητικό Παράδειγμα..... | 40 |
| 3.3 Αριθμητικός Αποτέλεσμα..... | 41 |
| 3.4 Ανάλυση Ευαισθησίας..... | 42 |
| 4 Συμπεράσματα..... | 47 |
| Βιβλιογραφία..... | 48 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|---|----|
| Σχήμα 1. Αλλαγές στην πρώτη συνάρτηση λόγω αλλαγών στο χρόνο διάσπασης υπό συνθήκες αβεβαιότητας..... | 43 |
| Σχήμα 2. Αλλαγές στην πρώτη συνάρτηση λόγω αλλαγών στο χρόνο αποσύνθεσης υπό ορισμένες συνθήκες..... | 44 |
| Σχήμα 3. Αλλαγές στη δεύτερη συνάρτηση λόγω αλλαγών στο χρόνο αποσύνθεσης σε ορισμένες και αβέβαιες συνθήκες..... | 44 |
| Σχήμα 4. Αλλαγές στη συνάρτηση πρώτου στόχου λόγω αλλαγών στην παράμετρο του διαστήματος έκπτωσης σε αβέβαιες συνθήκες..... | 45 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|--|----|
| Πίνακας 1. Εύρος τιμών παραμέτρων προβλήματος με βάση την ομοιόμορφη κατανομή..... | 41 |
| Πίνακας 2. Η καλύτερη και η χειρότερη τιμή και ο υπολογιστικός χρόνος που απαιτείται για την επίλυση μικρού μεγέθους δειγματοληπτικού προβλήματος..... | 42 |
| Πίνακας 3. Αλλαγές στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης λόγω αλλαγών στο χρόνο αποσύνθεσης..... | 43 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1. Το προτεινόμενο δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας για ευπαθή προϊόν..... | 31 |
|---|----|

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα δίκτυο ατόμων και εταιρειών που συμμετέχουν στη δημιουργία ενός προϊόντος και στην παράδοση του στον καταναλωτή. Οι δεσμοί στην αλυσίδα ξεκινούν με τους παραγωγούς των πρώτων υλών και τελειώνουν όταν το φορτηγό παραδίδει το τελικό προϊόν στον τελικό χρήστη. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μια κρίσιμη διαδικασία, επειδή μια βελτιστοποιημένη εφοδιαστική αλυσίδα έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος και πιο αποτελεσματικό κύκλο παραγωγής. Οι εταιρείες επιδιώκουν να βελτιώσουν τις εφοδιαστικές αλυσίδες τους, ώστε να μπορούν να μειώσουν το κόστος τους και να παραμείνουν ανταγωνιστικές. Η βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας αναφέρεται στα εργαλεία και τις διαδικασίες με τις οποίες βελτιώνονται οι επιδόσεις και η αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας παραγωγής και διανομής, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους περιορισμούς. Οι τεχνολογίες βελτιστοποίησης του δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας χρησιμοποιούν εξελιγμένους αλγόριθμους και αναλύσεις για την εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης με τέτοιο τρόπο ώστε να προμηθεύονται επαρκείς πρώτες ύλες για την κατασκευή και τη διανομή ώστε να ανταποκρίνονται στις προσδοκίες των πελατών με την υψηλότερη απόδοση κόστους.

1. Σχεδιασμός διαχείρισης βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας

1.1 Βασικές έννοιες και εξελικτική πορεία αλυσίδας εφοδιασμού

Σύμφωνα με τους Chopra και Meindl (2001), «μια αλυσίδα εφοδιασμού αποτελείται από όλα τα εμπλεκόμενα μέρη άμεσα ή έμμεσα, εκπληρώνοντας τα αιτήματα του πελάτη. Η εφοδιαστική αλυσίδα περιλαμβάνει όχι μόνο τους κατασκευαστές και προμηθευτές, αλλά και τους μεταφορείς, τις αποθήκες, τους λιανοπωλητές, ακόμη και τους πελάτες τους ίδιους.» Η έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας αναφέρεται τόσο σε οργανισμούς προϊόντων όσο και σε υπηρεσίες. Η δομή μιας εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να είναι πολύ περίπλοκη και μπορεί να διαφέρει ευρέως από κλάδο σε κλάδο βιομηχανίας και από επιχείρηση σε επιχείρηση.

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να οριστεί ως εξής: «Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας στοχεύει στο σχεδιασμό, τη διαχείριση και τον συντονισμό των ροών υλικού/προϊόντων, πληροφοριών και χρηματοοικονομικών ροών προς την ικανοποίηση των απαιτήσεων των πελατών με χαμηλό κόστος και συνεπώς την αύξηση του κέρδους που αποφέρει η εφοδιαστική αλυσίδα» (Rosic, 2011). Σύμφωνα με τους Simchi-Levi et al. (2003), η διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας είναι «ένα σύνολο προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματική ενσωμάτωση προμηθευτών, κατασκευαστών, αποθηκών και καταστημάτων, ώστε τα εμπορεύματα να παράγονται και να διανέμονται στις σωστές ποσότητες, στις σωστές τοποθεσίες και τη σωστή στιγμή, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το κόστος σε όλο το σύστημα ενώ ικανοποιώντας τις απαιτήσεις εξυπηρέτησης.» Αυτοί οι δύο ορισμοί υπογραμμίζουν την υπάρχουσα αντιστάθμιση μεταξύ κόστους και επιπέδου εξυπηρέτησης.

Οι αποφάσεις για τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες, δηλαδή: σε στρατηγικές, σε τακτικές και σε επιχειρησιακές. Οι στρατηγικές αποφάσεις λαμβάνονται συνήθως υπό την προϋπόθεση μεγαλύτερου χρονικού ορίζοντα. Οι αποφάσεις αυτές σχετίζονται με την εταιρική στρατηγική και αφορούν κυρίως προβλήματα σχεδιασμού. Οι τακτικές αποφάσεις λαμβάνονται με την προϋπόθεση μεσοπρόθεσμου χρονικού ορίζοντα και επικεντρώνονται στον προγραμματισμό των επιχειρήσεων. Τέλος, το είδος των επιχειρησιακών αποφάσεων αναφέρεται στον βραχυπρόθεσμο ή/και στον πολύ βραχυπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα και ασχολείται με προβλήματα διαχείρισης ροής και προγραμματισμού. Οι αποφάσεις που

αφορούν τα τρία αυτά επίπεδα λαμβάνονται στα στάδια προμήθειας, παραγωγής και διανομής της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η έρευνά αυτή επικεντρώνεται στη βελτιστοποίηση ελέγχου αποθεμάτων που είναι ένα από τα κύρια ζητήματα που αφορούν επιχειρησιακές αποφάσεις. Ο έλεγχος αποθεμάτων μπορεί να οριστεί ως η διαχείριση του αποθέματος σε όλα τα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού, δηλαδή πρώτες ύλες, υπό εξέλιξη εργασίες και τελικά προϊόντα. Ο στόχος του ελέγχου των αποθεμάτων είναι συχνά η εξισορρόπηση αντικρουόμενων παραμέτρων. Από τη μια πλευρά, τα επίπεδα αποθεμάτων σε όλα τα στάδια μπορούν να διατηρηθούν χαμηλά για να διατεθούν μετρητά για άλλους σκοπούς. Από την άλλη πλευρά, το υψηλό επίπεδο αποθεμάτων επιτρέπει οικονομίες κλίμακας και αποτρέπει επιχειρησιακά προβλήματα λόγω αβεβαιοτήτων στην προσφορά, την παραγωγή και τις πωλήσεις (Axsäter, 2006). Η ισορροπία είναι σπάνια ασήμαντη, γι' αυτό απαιτούνται μοντέλα απογραφής. Ο σύγχρονος έλεγχος αποθεμάτων βασίζεται σε αρκετά προηγμένα και πολύπλοκα μοντέλα αποφάσεων.

Η έννοια της απόδοσης έχει εξελιχθεί πλήρως τα τελευταία πενήντα χρόνια, κυρίως λόγω μιας τεράστιας αύξησης του ανταγωνισμού μεταξύ των επιχειρήσεων. Τρεις κύριες φάσεις μπορούν να διακριθούν. Από το 1945 έως το 1975, η ζήτηση υπερέβαινε την προσφορά. Η απόδοση αξιολογήθηκε μόνο ως προς το κόστος προοπτικής. Από το 1975 έως το 1990, η προσφορά ισοσκελίστηκε και στη συνέχεια ξεπέρασε τη ζήτηση. Η έννοια της απόδοσης έχει αρχίσει να περιλαμβάνει άλλα κριτήρια όπως είναι η αξιοπιστία, η ποιότητα και ο χρόνος παράδοσης. Από το 1990 μέχρι σήμερα, έχει αναδυθεί ένα πολύ ευρύτερο όραμα σχετικά με την απόδοση. Από αυτό το σημείο και στο εξής, η έννοια της απόδοσης περιλαμβάνει επίσης περιβαλλοντικές και κοινωνικές πτυχές. Στις μέρες μας, η έννοια της εταιρικής κοινωνικής ευθύνης (EKE) είναι στενά συνδεδεμένη με την έννοια της απόδοσης. Η EKE βασίζεται στη θεωρία των ενδιαφερομένων μερών (Freeman, 2010). Η θεωρία των ενδιαφερομένων μερών αποτελεί έναν εναλλακτικό τρόπο σκέψης σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο σκέψης και οπτικής και με το μοντέλο εισροών-εκροών της Εταιρείας. Σύμφωνα με την παραδοσιακή άποψη λοιπόν, στους μετόχους ανήκει ολόκληρη η εταιρεία και έτσι είναι οι δικές τους ανάγκες που πρέπει να ληφθούν υπόψη και να ικανοποιηθούν αρχικά. Στο μοντέλο εισροών-εκροών της εταιρείας, η επιχείρηση μετασχηματίζει τις εισροές των επενδυτών, των εργαζομένων και των προμηθευτών σε προϊόντα που μπορούν να αγοραστούν από τους πελάτες. Μόνο με αυτό τον τρόπο οι εταιρείες ανταποκρίνονται

στις ανάγκες και τις επιθυμίες όλων αυτών. Στη θεωρία των ενδιαφερομένων μερών, η εταιρεία έχει την υποχρέωση να ικανοποιήσει τις ανάγκες όλων των ενδιαφερόμενων οι οποίοι έχουν κοινά αλλά και αντίπαλα συμφέροντα. Οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να περιλαμβάνουν προμηθευτές, πελάτες, μετόχους, υπαλλήλους, επενδυτές, κοινότητες, την κυβέρνηση, τα μέσα ενημέρωσης και ακόμα και την κοινωνία. Καθώς τα συμφέροντα των διαφόρων ενδιαφερόμενων μπορεί συχνά να μην συμπίπτουν, η απόδοση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ποιος ενδιαφερόμενος πρέπει να είναι ικανοποιημένος. Η απόδοση έτσι έχει μετατραπεί σε μια σχετική έννοια. Επιπλέον, η μέτρηση της απόδοσης συνεπάγεται πάντα στρατηγικούς προσανατολισμούς (Lebas, 1995). Αυτό το χαρακτηριστικό παρουσιάζεται ξεκάθαρα στο ακόλουθο απόσπασμα από την έκθεση της Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη: «Μετράμε αυτό που εκτιμούμε και εκτιμούμε αυτό που μετράμε» (UNCSD, 2001). Η έννοια της απόδοσης έχει έτσι γίνει μια σχετική έννοια που θα πρέπει να περιλαμβάνει πολλές διαστάσεις.

Η απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας παραδοσιακά αξιολογείται με βάση το κόστος και την εξυπηρέτηση πελατών. Αυτά τα δύο μέτρα απόδοσης είναι γενικά αντικρουόμενα, δηλαδή υπάρχει συμβιβασμός μεταξύ οικονομικής αποτελεσματικότητας και ανταπόκρισης (Nahmias, 2001). Σήμερα, η απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί μείζον ζήτημα για τις εταιρείες λόγω του φαινομένου της παγκοσμιοποίησης (Botta-Genoulaz, 2005). Η απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας θα πρέπει να αξιολογείται σε κάθε διαδικασία της αλυσίδας.

Οι δομές που εξετάζονται είναι το μοντέλο SCOR (SCC, 2008), το μοντέλο Cooper et al. (Cooper et al., 1997), το μοντέλο Porter (Porter, 1990), το μοντέλο ASLOG (ASLOG, 2006) και το μοντέλο EVALOG (EVALOG, 2007). Αυτές οι δομές βασίζονται σε παρόμοιες διαδικασίες αλλά με διαφορετικά ονόματα. Οι Chardine-Baumann (2011) προσδιορίζουν επτά κοινές διαδικασίες, δηλαδή τον σχεδιασμό, την αγορά, την προμήθεια, την παραγωγή, την πώληση, τη διανομή και την επιστροφή.

Το ίδιο είδος ανάλυσης προτείνεται επίσης από τον Gruat La Forme et al. (2007) όπου οι διεργασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας ομαδοποιούνται σε τέσσερις κατηγορίες, δηλαδή κάτω μέρος, εσωτερικό μέρος, άνω μέρος και, τέλος, το κομμάτι διασταυρούμενης τροφοδοσίας.

Κάθε δομή προσδιορίζει πολλούς δείκτες KPI (key performance indicator) για κάθε διαδικασία που αφορά την αλυσίδα εφοδιασμού. Αυτές οι δομές απόδοσης της

εφοδιαστικής αλυσίδας παραδοσιακά μετρούν την απόδοση με κριτήρια όπως το κόστος, την ευελιξία, την αξιοπιστία, την ποιότητα και τον χρόνο παράδοσης. Στις μέρες μας, τα θέματα ΕΚΕ έχουν διευρύνει δραστικά την έννοια της απόδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας. «Η Ενιαία βελτιστοποίηση ενός οικονομικού κριτηρίου είναι ανεπαρκής καθώς στην επιχείρηση κυριαρχούν πελάτες με ισχυρές κοινωνικές και περιβαλλοντικές δεσμεύσεις» (Benyoucef, 2008). Αυτά τα πλαίσια εξελίσσονται και ενσωματώνονται συνεχώς στις τωρινές προοπτικές της ΕΚΕ. Για παράδειγμα, το μοντέλο SCOR περιλαμβάνει το GREENSCOR που προτείνει βέλτιστες περιβαλλοντικές πρακτικές καθώς και περιβαλλοντικούς δείκτες. Ωστόσο, αυτές οι δομές απόδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας βασίζονται σε μέτρα που αποτελούν σημείο αναφοράς και δεν υιοθετούν μία ολιστική οπτική σχετικά με τα θέματα βιωσιμότητας. Η εισαγωγή περιβαλλοντικών και κοινωνικών θεμάτων είναι όντως μερική. Αυτά τα πλαίσια σχεδιάστηκαν αρχικά από βιομηχανίες με βάση τις βέλτιστες πρακτικές. Δεν έχουν σχεδιαστεί για να αξιολογούν την απόδοση της βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας και μπορεί να είναι δύσκολο να τροποποιηθούν σε αυτόν τον βαθμό.

1.2 Η έννοια των Logistics

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας περιγράφει τη στρατηγική και τις δραστηριότητες που αφορούν τον σχεδιασμό, την προμήθεια, την παραγωγή και την παράδοση αγαθών, καθώς και τον χειρισμό των επιστροφών. Τα Logistics από την άλλη επικεντρώνονται στο γεγονός ότι πρέπει τα σωστά προϊόντα να βρίσκονται στο σωστό μέρος τη σωστή στιγμή και στον τρόπο με τον οποίο πρέπει να βρεθούν εκεί. Οι εταιρείες βλέπουν τα logistics ως ένα κρίσιμο προσχέδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας. Χρησιμοποιείται για τη διαχείριση, τον συντονισμό και την παρακολούθηση των πόρων που απαιτούνται για τη μεταφορά προϊόντων με ομαλό, έγκαιρο, οικονομικά αποδοτικό και αξιόπιστο τρόπο.

Ο ρόλος των logistics συνολικά περιλαμβάνει την μεταφορά/παράδοση, την αποθήκευση, τη συσκευασία, τον χειρισμό φορτίου, την επεξεργασία διανομής και την επεξεργασία πληροφοριών, εκτός των άλλων, πολλά συστήματα έχουν τεθεί σε εφαρμογή για την παράδοση προϊόντων από την τοποθεσία παραγωγής ή το εργοστάσιο στον καταναλωτή γρήγορα και έγκαιρα.

Η αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρονικές παραδόσεις, οι μικρότεροι κύκλοι παράδοσης, ο αυξανόμενος ανταγωνισμός, η συρρίκνωση των περιθωρίων κέρδους και η διασφάλιση

καλύτερης εξυπηρέτησης πελατών είναι μερικοί από τους κύριους παράγοντες που ωθούν τις επιχειρήσεις σε όλους τους κλάδους να κάνουν αποτελεσματική τη διαχείριση των logistics. Ωστόσο, εάν η επιδίωξη για την επίτευξη αποτελεσματικής διαχείρισης logistics δεν τροφοδοτείται από σύγχρονες τεχνολογίες ή ψηφιακά εργαλεία, οι πιθανότητες αποτυχίας πολλαπλασιάζονται.

Η διαχείριση των logistics περιλαμβάνει πολλαπλές διαδικασίες που διασφαλίζουν την απρόσκοπτη διακίνηση αγαθών, φορτίων, δεμάτων, πρώτων υλών, τελικού αποθέματος και δεμάτων από το σημείο προέλευσής της στους πελάτες. Αυτές οι διαδικασίες μπορούν να είναι τόσο αυτοματοποιημένες όσο και μη αυτόματες ανάλογα με την ψηφιακή ωριμότητα μιας επιχείρησης. Η σύγχρονη και αποτελεσματική διαχείριση logistics, εξοπλισμένη με τεχνολογίες όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη, η Μηχανική Μάθηση, η Προγνωστική Νοημοσύνη, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), μεταξύ άλλων, δίνει τη δυνατότητα στις επιχειρήσεις να ανακαλύψουν νέες ροές εσόδων, να ενισχύσουν την κερδοφορία των παραδόσεων και να δημιουργήσουν ευχάριστες εμπειρίες πελατών. Η διαχείριση logistics αποτελεί βασικό συστατικό της Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας (SCM).

Η Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας είναι μια σειρά διασυνδεδεμένων δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη μετατροπή και τη μετάβαση των πρώτων υλών σε τελικά προϊόντα μέχρι να φτάσουν στον καταναλωτή. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας φροντίζει για ολόκληρη τη διαδικασία αγοράς, προμήθειας, κατασκευής και πώλησης, ενώ τα logistics γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ των διαφορετικών τμημάτων. Η Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας στοχεύει στην απόκτηση ουσιαστικού ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος μέσω της αποτελεσματικότητας. Τα logistics περιλαμβάνουν επίσης άλλες δραστηριότητες όπως είναι η αποθήκευση, η προστατευτική συσκευασία, η εκπλήρωση παραγγελιών, ο έλεγχος αποθεμάτων, η διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ ζήτησης και προσφοράς και η διαχείριση αποθεμάτων.

Η διαδικασία διαχείρισης των logistics ξεκινά με τη συσσώρευση πρώτης ύλης και συνεχίζει στο τελικό στάδιο όπου τα αγαθά παραδίδονται στον προορισμό. Υπάρχουν πολλοί τύποι logistics που σχετίζονται με διαφορετικές διαδικασίες εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι κύριοι τύποι διαχείρισης logistics είναι οι εξής:

1. Διαχείριση Διαδικασιών Εφοδιασμού

Η διαχείριση των διαδικασιών του εφοδιασμού περιλαμβάνει τον προγραμματισμό, την προμήθεια και τον συντονισμό των υλικών που χρειάζονται σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία σε μια συγκεκριμένη στιγμή για την υποστήριξη της παραγωγής. Αυτός ο εφοδιασμός θα περιλαμβάνει επίσης τον συντονισμό για την αποθήκευση και τη μεταφορά των υλικών. Σημαίνει επίσης αξιολόγηση του επιπέδου της προσφοράς ώστε να ταιριάζει με τη ζήτηση για τη βεβαίωση ότι η διαδικασία έχει ομαλή ροή. Η διαχείριση του εφοδιασμού πρέπει να αντιμετωπιστεί έγκαιρα, καθώς οι καθυστερήσεις μπορεί να οδηγήσουν σε διακοπή ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

2. Διανομή και χειρισμός υλικών και προϊόντων

Αυτό το κομμάτι γενικά περιλαμβάνει τη μετακίνηση αποθηκευμένων υλικών ή προϊόντων για περαιτέρω κατασκευή ή διανομή. Αυτό το είδος logistics περιλαμβάνει τη φόρτωση, την εκφόρτωση, την παρακολούθηση και τη διατήρηση αποθεμάτων υλικών. Αυτός ο τύπος διαχείρισης ελέγχει τη μετακίνηση των προμηθειών από μια κεντρική αποθήκη σε διάφορες άλλες τοποθεσίες, και περιλαμβάνει έντονη μετακίνηση υλικών όπου η έγκαιρη παράδοση είναι σημαντικός παράγοντας.

3. Διαχείριση προϊόντων

Η διαχείριση προϊόντων στα logistics περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, τη διαχείριση και τον έλεγχο των διαφορετικών σταδίων παραγωγής εντός μιας εταιρείας. Φροντίζει για τον συντονισμό που απαιτείται στη διαδικασία κατασκευής ή συναρμολόγησης, τη μετακίνηση μεταξύ εργοστασίων και αποθηκών, τη διαχείριση των χώρων παραγωγής και την τήρηση ενός αυστηρού χρονοδιαγράμματος. Τα logistics παραγωγής παρέχουν τα μέσα για την επίτευξη της αποδοτικότητας κεφαλαίου.

4. Διαχείριση Εξυπηρέτησης Πελατών

Η διαχείριση εξυπηρέτησης πελατών αναφέρεται σε πρακτικές, στρατηγικές και τεχνολογίες που χρησιμοποιούν οι εταιρείες για τη διαχείριση και την ανάλυση των αλληλεπιδράσεων και των δεδομένων με τους πελάτες καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των πελατών. Η καλή διαχείριση εξυπηρέτησης πελατών στα logistics εξαρτάται από την άριστη επικοινωνία και τις έγκαιρες και χωρίς ζημιές παραδόσεις. Αυτό βοηθά στη βελτίωση των επιχειρηματικών σχέσεων με τους πελάτες και, επίσης, βοηθά στη διατήρηση του αριθμού των πελατών.

5. Διαχείριση επιστροφών

Η διαχείριση επιστροφών, που συχνά αναφέρεται ως reverse logistics, είναι η διαχείριση των επιστρεφόμενων αντικειμένων στην εταιρεία. Η διαχείριση επιστροφών περιλαμβάνει την ανάκτηση υλικού και προμηθειών από μια διαδικασία παραγωγής ή συναρμολόγησης ή την επιστροφή κατεστραμμένων, ανεπιθύμητων και αχρησιμοποίητων προϊόντων από τον τελικό πελάτη. Μέσω της σωστής επιθεώρησης και ταξινόμησης των επιστρεφόμενων προϊόντων, μπορεί κανείς να μειώσει σημαντικά τις απώλειες επαναχρησιμοποιώντας τα άθικτα/αχρησιμοποίητα υλικά και προϊόντα.

1.3 Σύγχρονες απαιτήσεις: περιβαλλοντική, κοινωνική και οικονομική βιωσιμότητα

Η βιωσιμότητα στις εφοδιαστικές αλυσίδες έχει τρεις ευθύνες: την κοινωνική, την περιβαλλοντική και την οικονομική. Η μέθοδος Triple Bottom Line (TBL) αντί να εστιάζει απλώς στα κέρδη και τις ζημιές, αξιολογεί τη συνολική απόδοση μιας εταιρείας μετρώντας τον αντίκτυπο της εταιρείας:

Στους ανθρώπους - η κατώτατη γραμμή της κοινωνικής ισότητας

Στον πλανήτη-η περιβαλλοντική κατώτατη γραμμή

Στο κέρδος - το οικονομικό αποτέλεσμα

Ακριβώς όπως οι εταιρείες στο σύνολό τους, η βιωσιμότητα στις εφοδιαστικές αλυσίδες μπορεί επίσης να μετρηθεί χρησιμοποιώντας αυτά τα τρία στοιχεία. Ως αποτέλεσμα, πολλές εταιρείες που στοχεύουν στο μέλλον αναζητούν πλέον τρόπους να συνδέσουν τη στρατηγική τους για τις προμήθειες με τη συνολική στρατηγική βιωσιμότητας. Η χρήση των ανθρώπων, του πλανήτη και του κέρδους ως βασικά στοιχεία της στρατηγικής της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει ως αποτέλεσμα μια μεθοδολογία προμηθειών που προάγει τη βιωσιμότητα σε κάθε βήμα, εξοικονομώντας ταυτόχρονα χρήματα.

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αυτό είναι η εστίαση στους ανθρώπους που βοηθάει στην κατανόηση του αντίκτυπου στο προσωπικό και στις κοινότητες στις οποίες έχουν άμεση ανταπόκριση. Η κατανόηση του αντίκτυπου της εφοδιαστικής αλυσίδας στο περιβάλλον οδηγεί σε βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση και σε μια σειρά από βελτιστοποιήσεις όσον αφορά τα logistics. Βέβαια, η αύξηση των κερδών σημαίνει προσθήκη οικονομικής αξίας και εξοικονόμησης κόστους στον ίδιο τον οργανισμό.

Οι επαγγελματίες προμηθειών μπορούν να εντοπίσουν τρόπους με τους οποίους αυτά τα στοιχεία μπορούν να βελτιώσουν τη συνολική βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας και την επιχείρηση στο σύνολό της.

1.3.1 Βιωσιμότητα εφοδιαστικής αλυσίδας: Κοινωνική

Η μεγιστοποίηση του αντίκτυπου του οργανισμού στην κοινωνία είναι το κυριότερο μέρος για το πρώτο από τα τρία στοιχεία του TBL. Όταν η εταιρία λαμβάνει υπόψη τους "ανθρώπους" στη βιώσιμη εφοδιαστική αλυσίδα της, δεν συμπεριλαμβάνονται μόνο οι υπάλληλοι της εταιρείας, αλλά και οι πωλητές σε όλη την εφοδιαστική αλυσίδα, οι πελάτες, οι τοπικές κοινότητες και η κοινωνία στο σύνολό της.

Για τη βελτίωση της κοινωνικής βιωσιμότητας, οι εταιρείες πρέπει να καταλήξουν σε μετρήσιμους στόχους για τη μεγιστοποίηση του θετικού κοινωνικού τους αντίκτυπου. Ένα παράδειγμα είναι οι προμηθευτές. Η βιώσιμη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας σημαίνει να διασφαλίζεται ότι υπάρχει συνεργασία με προμηθευτές που εφαρμόζουν δίκαιες εργασιακές πρακτικές και πληρούν τους κανονισμούς Ασφάλειας και Υγιεινής. Σημαίνει επίσης ότι δεν ρυπαίνουν και δεν προκαλούν προβλήματα στις κοινότητες στις οποίες δραστηριοποιούνται. Η πραγματική βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας σημαίνει να διασφαλίζεται ότι υπάρχουν διαφορετικοί προμηθευτές στην εναλλαγή των πωλητών, ώστε να δημιουργηθεί μια πιο δίκαιη επιχείρηση.

Το καλό που κάνει η εταιρεία στο ένα άκρο της εφοδιαστικής αλυσίδας αποφέρει οφέλη μέχρι και στους καταναλωτές της. Μια μελέτη διαπίστωσε ότι οι Millennials δίνουν ένα πριμ για την εταιρική κοινωνική ευθύνη και είναι σε θέση να πληρώσουν περισσότερα για προϊόντα από εταιρείες που μοιράζονται τις αξίες τους.

1.3.2 Βιωσιμότητα εφοδιαστικής αλυσίδας: Περιβαλλοντική

Οι περιβαλλοντικές βελτιώσεις είναι εύκολο να γίνουν αντιληπτές, αλλά πιο δύσκολο να επιτευχθούν. Οι περιβαλλοντικές ανησυχίες στην εφοδιαστική αλυσίδα ενσωματώνουν μια σειρά από ζητήματα:

Πόσα απόβλητα παράγουν οι προμηθευτές και τα logistics παράδοσης;

Οι κατασκευαστικές δραστηριότητες των πωλητών μολύνουν το περιβάλλον ή βοηθούν στον καθαρισμό του;

Ποια είναι τα ποσοστά χρήσης νερού και ενέργειας στην εφοδιαστική αλυσίδα και ποιο είναι το συνολικό ίχνος άνθρακα;

Όπου είναι δυνατόν, απαιτείται από τους προμηθευτές να χρησιμοποιούν ανακυκλωμένα υλικά και συσκευασίες;

Όσο πιο περίπλοκη είναι μια εφοδιαστική αλυσίδα, τόσο πιο δύσκολο είναι να επιτευχθεί πραγματική βιωσιμότητα. Ωστόσο, υπάρχουν βέλτιστες πρακτικές που μπορούν να

εφαρμοστούν. Πρώτον, θα πρέπει να γίνει η ανάθεση ενός επίσημου ατόμου στην ομάδα προμηθειών να εφαρμόσει και να παρακολουθεί τις πολιτικές βιωσιμότητας. Αυτό το άτομο θα καθοδηγήσει τη συνολική διαδικασία και θα παρέχει στον οργανισμό μια τακτική αξιολόγηση βιωσιμότητας προμηθειών. Στη συνέχεια, πρέπει να δημιουργηθεί μία ξεχωριστή πολιτική βιωσιμότητας για την εταιρία με στόχους που είναι επιτεύξιμοι και να μετρηθεί η πρόοδος της προς αυτούς τους στόχους.

Στη συνέχεια, εμφανίζεται η απαίτηση από τους κύριους προμηθευτές της εταιρίας να θέσουν τους δικούς τους στόχους καθώς, επίσης, και να παρακολουθούν την πρόοδό τους. Μόλις ταξινομηθούν και οι κορυφαιοί προμηθευτές της εταιρίας, θα πρέπει να αρχίσει η αξιολόγηση των προμηθευτών χαμηλότερης βαθμίδας.

1.3.3 Βιωσιμότητα εφοδιαστικής αλυσίδας: Χρηματοοικονομική

Τελευταίο, αλλά σίγουρα όχι λιγότερο σημαντικό, είναι το κέρδος. Η βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει να κάνει με τη βοήθεια των ανθρώπων που αγγίζει ο ίδιος ο οργανισμός και του πλανήτη στον οποίο ζούμε όλοι. Σημαντική, όμως, είναι και η οργάνωση της εταιρείας ώστε να είναι βιώσιμα κερδοφόρα. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, η ψηφιοποίηση και η αυτοματοποίηση διαδικασιών είναι εξαιρετικά εργαλεία για τη μείωση του κόστους και τη μεγιστοποίηση του κέρδους.

Τεχνολογίες όπως οι Ηλεκτρονικές Ανταλλαγές Δεδομένων (EDI) μπορούν να βοηθήσουν την ομάδα προμηθειών να μην έχει ανάγκη την χρήση π.χ. χαρτιού, βοηθώντας την εταιρία στη διάσωση του περιβάλλοντος μειώνοντας παράλληλα το λειτουργικό της κόστος. Οι πλατφόρμες Automatic Identification and Data Capture (AIDC) και Enterprise Resource Planning (ERP) συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη λειτουργία της προμήθειας και στη μείωση της σπατάλης στην εφοδιαστική αλυσίδα. Η εφαρμογή ενός Κώδικα Δεοντολογίας της Εφοδιαστικής Αλυσίδας μεταξύ των προμηθευτών, που ενσωματώνει κοινωνικά και περιβαλλοντικά στοιχεία, όχι μόνο βελτιώνει τις συνθήκες εργασίας σε ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα, αλλά συμβάλλει επίσης στη μείωση του κινδύνου της εφοδιαστικής αλυσίδας και στη βελτίωση της εικόνας της εταιρίας.

1.4 Βελτιστοποίηση διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας

Ο όρος «βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας» σημαίνει λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας με μέγιστη απόδοση. Αυτό βασίζεται σε βασικούς δείκτες

απόδοσης, συμπεριλαμβανομένων των συνολικών λειτουργικών εξόδων και της απόδοσης μεικτού περιθωρίου κέρδους επί του επενδυμένου αποθέματος. Στόχος είναι η παράδοση προϊόντων στους πελάτες με το χαμηλότερο συνολικό κόστος με το υψηλότερο επίπεδο κέρδους. Προκειμένου να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι, οι διευθυντές πρέπει να εξισορροπήσουν το κόστος κατασκευής, την απογραφή, τη μεταφορά, την εκπλήρωση και τις προσδοκίες εξυπηρέτησης πελατών.

Δεδομένης της πολυπλοκότητας, η βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μια επιχειρηματική δραστηριότητα που μπορεί να θεωρηθεί μαραθώνιος και όχι σπριντ. Η διαμόρφωση της εφοδιαστικής αλυσίδας που είναι επί του παρόντος ο καλύτερος συνδυασμός κόστους και υπηρεσίας μπορεί να αλλάξει με την πάροδο του χρόνου. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται σε διακυμάνσεις στο κόστος υλικών, αλλαγές εταιρείας κινητής τηλεφωνίας, δημογραφικά στοιχεία πελατών ή άλλους παράγοντες που απαιτούν συνεχή επίβλεψη.

Η διαδικασία για τη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας ξεκινά συνήθως με μια ενδελεχή ανάλυση που βασίζεται στην πρόβλεψη ζήτησης, ακολουθούμενη από την ανάπτυξη ενός σχεδίου παραγωγής και απογραφής για την κάλυψη της πρόβλεψης. Η μελέτη περιλαμβάνει εισερχόμενες πρώτες ύλες ή εξαρτήματα, κατασκευή, μεταφορά και διανομή. Είναι επίσης μια ευκαιρία να εξεταστούν οι δυνατότητες για καλύτερη ενσωμάτωση του ηλεκτρονικού εμπορίου μέσω μιας στρατηγικής παντός καναλιού.

Συνήθως, οι εταιρείες συνεργάζονται με συμβούλους για να βοηθήσουν στη διαχείριση της διαδικασίας βελτιστοποίησης και στην εφαρμογή τεχνολογικών και οργανωτικών αλλαγών για να εξασφαλίσουν τα αποτελέσματα που θα επιβιώσουν στον πραγματικό κόσμο.

Η στρατηγική αναθεώρηση του δικτύου της εφοδιαστικής αλυσίδας οδηγεί σε μια σειρά σχεδίων για τον οργανισμό με χρονικό ορίζοντα από άμεσο έως περίπου πέντε χρόνια.

Αυτά τα σχέδια θα καλύπτουν την επιχειρηματική στρατηγική καθώς και την τακτική και λειτουργική υλοποίηση των σχεδίων βελτιστοποίησης. Φυσικά, θα πρέπει να υπάρχουν σχέδια για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, όπως οι ελλείψεις υλικών και εργατικού δυναμικού. Αυτά τα σχέδια θα βοηθήσουν την εταιρεία να μετακινηθεί από μια προσέγγιση που βασίζεται στην αντίδραση, σε μια που στοχεύει στην πρόληψη των κινδύνων της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Στρατηγικός Σχεδιασμός: Αυτή η διαδικασία καθορίζει τη συνολική προσέγγιση για τους στόχους της εταιρείας. Αυτό το βήμα είναι όπου οι στόχοι διαχείρισης αποθεμάτων,

παραγωγής, μεταφοράς και διανομής τίθενται και ευθυγραμμίζονται με την τεχνολογία και την εξυπηρέτηση πελατών. Σε αυτό το επίπεδο, η διοίκηση μπορεί να εξετάσει τις οργανωτικές δομές και τους τομείς για επενδύσεις. Η στρατηγική θα πρέπει να περιλαμβάνει την πρόβλεψη της ζήτησης των πελατών για την κατανομή πόρων σε όλη την εφοδιαστικής αλυσίδα.

Αυτή η στρατηγική πρέπει να είναι κοινή σε όλες τις λειτουργίες. Για παράδειγμα, εάν η στρατηγική περιλαμβάνει την προμήθεια μικρότερων ποσοτήτων πρώτων υλών πιο συχνά, το τμήμα αγορών δεν θα πρέπει να επενδύει σε προμήθεια ενός έτους, ώστε να μπορεί να έχει καλύτερη τιμολόγηση.

Για πολλές εταιρείες, ο ρυθμός της αλλαγής ξεπερνά την ικανότητά τους να συμβαδίζουν. Η υιοθέτηση νέων ή εξελιγμένων επιχειρηματικών μοντέλων απαιτεί υψηλό επίπεδο εταιρικής ευελιξίας και διάθεση για αλλαγή. Σημαντικές αλλαγές στη δομή και τις δυνατότητες ενός οργανισμού θα μπορούσαν να έχουν εκτεταμένες επιπτώσεις στην κουλτούρα.

Τακτικός Σχεδιασμός: Το τακτικό σχέδιο θα πρέπει να καλύπτει ένα έως δύο χρόνια για την υποστήριξη της μακροπρόθεσμης στρατηγικής με την κατανομή πόρων, συμπεριλαμβανομένου του εργατικού δυναμικού. Το τακτικό σχέδιο θα πρέπει να περιλαμβάνει το χρονοδιάγραμμα για κάθε βήμα, τις ειδικές δεξιότητες που απαιτούνται και τυχόν κεφαλαιακές απαιτήσεις, όπως ο νέος χώρος αποθήκης. Το σχέδιο θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνει προβλέψεις για εξωτερικούς πόρους, όπως συμβούλους ή παρόχους υπηρεσιών.

Λειτουργικός Σχεδιασμός: Αυτό το τμήμα αφορά τη στρατηγική σε καθημερινές δραστηριότητες, όπως πολιτικές, σχέδια και προγράμματα. Το σχέδιο κατανέμει πόρους και μετρήσεις απόδοσης προκειμένου να βελτιωθεί η λειτουργική απόδοση. Ανάλογα με τη δραστηριότητα, ο επιχειρησιακός σχεδιασμός περιλαμβάνει καθημερινές, εβδομαδιαίες ή μηνιαίες δραστηριότητες για τον προγραμματισμό και την παρακολούθηση της καθημερινής ρουτίνας της επιχείρησης.

Σχεδιασμός έκτακτης ανάγκης: Το σχέδιο έκτακτης ανάγκης περιλαμβάνει τα χειρότερα σενάρια για μία επιχείρησή, όπως έντονα καιρικά φαινόμενα, εργατικά προβλήματα, απώλεια μεγάλων προμηθευτών και πωλητών. Τα σχέδια έκτακτης ανάγκης θα πρέπει να περιλαμβάνουν οποιαδήποτε περίσταση που θα μπορούσε να προκαλέσει αναταραχές σε ολόκληρο τον οργανισμό. Ο στόχος είναι η ύπαρξη της απάντησης πριν καν συμβεί ένα συμβάν, βοηθώντας στη μείωση του χρόνου απόκρισής. Ένας άλλος στόχος είναι η

ελαχιστοποίηση των παρεμβάσεων εσωτερικά και για τους πελάτες. Ορισμένα συμβάντα μπορεί να εμφανίζονται σχεδόν καθημερινά, όπως είναι οι καθυστερήσεις στις μεταφορές, οι ελλείψεις υλικών κ.ά, επομένως οι απαντήσεις μπορεί να έχουν ήδη καλυφθεί.

Η αρχή πρέπει να γίνει με την ανάλυσή μέσω του προσδιορισμού της τρέχουσας κατάστασης της εφοδιαστικής αλυσίδας, συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων, του κόστους μεταφοράς και των σχέσεων, των επιπέδων και των τοποθεσιών αποθέματος και των εγκαταστάσεων και πρακτικών διανομής πελατών. Αυτή είναι η βασική γραμμή για την υπόλοιπη ανάλυση, επομένως είναι σημαντικό να είναι όσο το δυνατόν πιο λεπτομερής και ακριβής.

1.5 Πλαίσιο ανάπτυξης μοντέλων βελτιστοποίησης βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας

Η βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας διασφαλίζει ότι οι οργανισμοί διατηρούν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην παραγωγή και διανομή προϊόντων. Η κακή διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι δαπανηρή και αναποτελεσματική. Είναι επίσης πιο ευαίσθητη σε επιχειρηματικούς κινδύνους όπως καθυστερήσεις παραγωγής, ελλείψεις αποθεμάτων και προκύπτουν ζητήματα ποιότητας παραγόμενων προϊόντων. Η καθιέρωση εξαιρετικά αποδοτικών λειτουργιών εφοδιαστικής αλυσίδας βοηθά τις εταιρείες να βελτιώσουν τα αποτελέσματα με διάφορους τρόπους:

Κοινοποίηση των πληροφοριών: Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας δεν γίνεται σε μια αποκλειστικά βαθμίδα. Το SCM λειτουργεί ως μέρος ενός μεγαλύτερου οικοσυστήματος μέσα σε έναν οργανισμό. Οι μειωμένη κοινοποίηση των πληροφοριών καθιστά τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας λιγότερο αποτελεσματική και πιο επιρρεπή σε προβλήματα. Αντίθετα, μια καλά διαμορφωμένη διαδικασία της εφοδιαστικής αλυσίδας δίνει σε όλους τους ενδιαφερομένους πρόσβαση στις πληροφορίες που χρειάζονται για να εκτελέσουν αποτελεσματικά τους ρόλους τους.

Ενεργοποίηση σωστού σχεδιασμού: Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός της εφοδιαστικής αλυσίδας βασίζεται στην ικανότητα μιας εταιρείας να αντιλαμβάνεται το μέλλον. Δημιουργώντας μια σαφή και διαφανή διαδικασία και φέρνοντας στην επιφάνεια όλα τα σχετικά δεδομένα, οι ομάδες της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορούν να συμμετάσχουν σε καλύτερη λήψη αποφάσεων. Μπορούν να θέσουν σε εφαρμογή πιο ακριβείς

προϋπολογισμούς, προβλέψεις, προγραμματισμό ζήτησης, χρονοδιαγράμματα παραγωγής και σχέδια χωρητικότητας.

Μείωση χρόνου απόκρισης: Η ορατότητα και ο προγραμματισμός συμβάλλουν στη συνολική ευελιξία της παραγωγής και της διανομής. Όταν βελτιστοποιούνται οι διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι ομάδες μπορούν να ανταποκριθούν σε απρόβλεπτα ζητήματα και να εφαρμόσουν λύσεις με ταχύτητα και ακρίβεια.

Μείωση κινδύνου: Πολλές από τις τεχνικές της προηγμένης βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας μειώνουν ή εξαλείφουν επιχειρηματικούς κινδύνους, όπως είναι οι εξαιρέσεις παράδοσης, οι καθυστερήσεις παραγωγής, η διακοπή της εφοδιαστικής αλυσίδας και οι παραβιάσεις δεδομένων. Επειδή η εξαιρετικά αποτελεσματική βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας δημιουργεί ένα σχέδιο για την αξιολόγηση του προμηθευτή, τη δέουσα επιμέλεια και την παρακολούθηση, η εμφάνιση ζητημάτων υψηλού κινδύνου μειώνεται.

1.6 Μοντέλα - αλγόριθμοι βελτιστοποίησης εφοδιαστικής αλυσίδας

Όταν μιλάμε για προβλήματα σχεδίασης εφοδιαστικής αλυσίδας (SC), αυτά μπορούν να διαχωριστούν σε αλυσίδες των τριών, τεσσάρων ή πέντε κλιμακίων. Σε αυτή την εργασία, θα μελετηθούν τα μοντέλα τριών και πέντε κλιμακίων. Οι SC Πέντε κλιμακίων περιλαμβάνουν τις πρώτες ύλες, τα εργοστάσια, τις αποθήκες, τη διανομή και τους καταναλωτές. Ενώ, τα SC τριών κλιμακίων περιλαμβάνουν: τις πρώτες ύλες, τα εργοστάσια και τους καταναλωτές. Η εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την αξιολόγηση και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης της SCM (Supply Chain Management) (Nurjanni et al., 2017). Στη βιβλιογραφία, τα προβλήματα που αφορούν τον σχεδιασμό της βελτιστοποίησης της SC ταξινομούνται σε βελτιστοποίηση ενός στόχου (single-objective) και πολλαπλών στόχων (multi-objective) (Mastrocinque et al., 2013).

Η βελτιστοποίηση των SCs σχετίζεται με την επιλογή μιας βέλτιστης λύσης με βάση την αντικειμενική συνάρτηση ή συναρτήσεις για βελτιστοποίηση ενός ή πολλαπλών στόχων (Amiri, 2006). Τα μοντέλα single-objective βασίζονται κυρίως στη βελτιστοποίηση των οικονομικών πτυχών (Timpe and Kallrath, 2000) και των περιβαλλοντικών πτυχών (Linares and Romero, 2000). Καμία μελέτη δεν έχει εξετάσει μόνο τις κοινωνικές πτυχές της βιωσιμότητας. Είναι εμφανές από τη βιβλιογραφία ότι η βελτιστοποίηση single-objective χρησιμοποιείται λιγότερο συχνά, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια (Kocaoğlu et

al., 2018). Στη βελτιστοποίηση multi-objective, οι λειτουργίες είναι τις περισσότερες φορές αντικρουόμενες και ο στόχος είναι να βρεθεί μια λύση-αντιστάθμιση που να ικανοποιεί αυτούς τους στόχους (Brandenburg et al., 2014).

Στη βιβλιογραφία, χρησιμοποιούνται διαφορετικές τεχνικές βελτιστοποίησης για τη διαμόρφωση μοντέλων όπως: ο γραμμικός προγραμματισμός (Nozick and Turnquist, 2001), ο μη-γραμμικός προγραμματισμός (Tsao and Lu, 2012), ο μεικτός-ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός (Liu και Παπαγεωργίου, 2013), ο μεικτός-ακέραιος μη γραμμικός προγραμματισμός (Lira-arragn et al., 2011) και η υβριδική προσέγγιση (GarciaHerreros et al., 2014).

Βελτιστοποίηση single-objective:

Ο ευκολότερος τρόπος έκφρασης οικονομικών ή περιβαλλοντικών κριτηρίων στο σχεδιασμό SC είναι μέσω τη χρήσης βελτιστοποίησης single-objective. Ο στόχος της βελτιστοποίησης single-objective είναι να ελαχιστοποιήσει ή μεγιστοποιήσει μια αντικειμενική συνάρτηση. Η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να εκφραστεί με ενιαία ή πολύ-κριτήρια. Τα τελευταία χρόνια, η χρήση της βελτιστοποίησης single-objective γίνεται λιγότερο δημοφιλής επειδή τα περισσότερα προβλήματα SCM είναι πολύπλοκα και απαιτούν τη χρήση της βελτιστοποίησης multi-objective.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μόνο μερικές μελέτες ασχολήθηκαν με προβλήματα SCM μέσω της βελτιστοποίησης single-objective. Ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού μικτού ακέραιου αναπτύχθηκε από τους Timpe και Kallrath (2000). Το μοντέλο διαμορφώθηκε με στόχο τη λειτουργία μεγιστοποίησης των πωλήσεων. Ένα μοντέλο μη γραμμικού προγραμματισμού μικτού ακέραιου και ένας αλγόριθμος που προτάθηκε από τον Min et al. (2006) για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους των reverse logistics. Ένα μοντέλο μεικτού-ακέραιου μη-γραμμικού προγραμματισμού με τον αλγόριθμο Lagrange αναπτύχθηκε από τους You and Grossmann (2008). Η αντικειμενική συνάρτηση ήταν η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους. Οι Elhedhli και Merrick (2012) μελέτησαν ένα μοντέλο βελτιστοποίησης single-objective με σταθερό και μεταβλητό κόστος τοποθεσίας και παραγωγής μαζί με το κόστος εκπομπών CO₂. Οι Garcia-Herreros et al. (2014) ανέπτυξαν ένα μοντέλο βελτιστοποίησης single-objective με στόχο να ελαχιστοποιήσει το συνολικό επενδυτικό κόστος.

Βελτιστοποίηση multi-objective:

Σε αντίθεση με τη βελτιστοποίηση single-objective, η βελτιστοποίηση multi-objective επιλύεται διαφορετικά. Δεν υπάρχει μια ενιαία συνολική λύση, αλλά υπάρχουν σύνολα

αρκετών βέλτιστων λύσεων Pareto. Οι βέλτιστες λύσεις Pareto είναι αντισταθμίσεις μεταξύ δύο ή περισσότερων αντικρουόμενων στόχων (τις περισσότερες φορές οικονομικών και περιβαλλοντικών). Η λύση δεν μπορεί να είναι βελτιωμένη χωρίς την επίτευξη άλλων στόχων (Trisna et al., 2016). Τα προβλήματα βελτιστοποίησης στο SCM διατυπώνονται ως επί το πλείστον ως γραμμικά μοντέλα πολλαπλών στόχων και παραδοσιακά, τα περισσότερα από αυτά περιλαμβάνουν οικονομικές και περιβαλλοντικές αντικειμενικές λειτουργίες (Eskandarpour et al., 2015). Η επέκταση των προβλημάτων βελτιστοποίησης και η συμπερίληψη των κοινωνικών ζητημάτων γίνονται κυρίως με τη δημιουργία θέσεων εργασίας/απασχόλησης (Cambero και Sowlati, 2016, Mota et al., 2015, You et al., 2012).

Ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού μικτού ακέραιου αναπτύχθηκε από τους Sabri και Beamon (2000). Το μοντέλο multi-objective περιλαμβάνει το συνολικό κόστος, τα ποσοστά πληρωμής και τα ποσοστά παράδοσης ως λειτουργίες. Η βέλτιστη λύση Pareto βρέθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Παρομοίως, οι Luo et al. (2001) ανέπτυξε ένα μοντέλο βελτιστοποίησης με τέσσερις στόχους-λειτουργίες για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, της κατανάλωσης ενέργειας, του χρόνου κύκλου εργασιών και των εκπομπών CO₂. Ένα μοντέλο γραμμικού μικτού ακέραιου προγραμματισμού με τη συμπερίληψη της αξιολόγησης του κύκλου ζωής, ως ένα εργαλείο εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αναπτύχθηκε από τους Hugo και Pistikopoulos (2005). Το μοντέλο έλυσε τρεις αντικειμενικές συναρτήσεις που συμπεριλαμβάνουν τη μεγιστοποίηση της καθαρής παρούσας αξίας, την ελαχιστοποίηση των εκπομπών των εγκαταστάσεων και την ελαχιστοποίηση των εξαντλημένων πόρων. Για να λυθεί το πρόβλημα βελτιστοποίησης του σχεδιασμού SC με περιβαλλοντικές και οικονομικές ευαισθησίες, Bojarski et al. (2009), ανέπτυξαν έναν μοντέλο μικτού-ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού. Ως αντικειμενικές συναρτήσεις ορίστηκαν η καθαρή παρούσα αξία του συνόλου των εργασιών και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού για τη μελέτη του αντίκτυπου των SCs στην οικονομική και περιβαλλοντική απόδοση αναπτύχθηκε από τους Wang et al. (2011). Στη διαμόρφωση του οικονομικού στόχου, υπολογίζονται το κόστος, το κόστος επένδυσης για την προστασία του περιβάλλοντος, το κόστος μεταφοράς και το κόστος διεκπεραίωσης καθώς και οι εκπομπές CO₂ ορίστηκαν ως συνάρτηση περιβαλλοντικού στόχου.

Ένα μοντέλο προγραμματισμού μεικτού ακέραιου για την ελαχιστοποίηση του σταθερού κόστους, του κόστους διανομής, του κόστους προμήθειας και του κόστους εκπομπών άνθρακα δόθηκαν από τους Abdallah et al. (2012). Τρία διαφορετικά σενάρια αναπτύχθηκαν στο μοντέλο εκπομπής άνθρακα χωρίς κυρώσεις, εκπομπές άνθρακα με υψηλές ποινές και ελάχιστες εκπομπές άνθρακα με ποινές. Οι Mota et al. (2015) πρότειναν ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού μεικτού ακέραιου με οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές πτυχές. Οι αντικειμενικές συναρτήσεις τίθενται έτσι ώστε το συνολικό κόστος των SC να πρέπει να ελαχιστοποιηθεί, ενώ ο αριθμός των θέσεων εργασίας μεγιστοποιείται. Επίσης, το ReCiPe χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο περιβαλλοντικής αξιολόγησης.

2. Case Studies

2.1 Χρήση μοντέλων βιώσιμης βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων σε Κίνα, Γερμανία και Πολωνία

2.1.1 Κίνα

Οι ανησυχίες για την ταχεία εξάντληση των πόρων ορυκτών καυσίμων και το φαινόμενο του θερμοκηπίου οδήγησαν πολλές χώρες να υιοθετήσουν πολιτικές που προωθούν την ανάπτυξη ανανεώσιμων καυσίμων, ιδίως βιοκαυσίμων. Η παραγωγή βιοκαυσίμων μπορεί επίσης να αυξήσει το εισόδημα των αγροτών και να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας. Στην Κίνα, η Εθνική Επιτροπή Ανάπτυξης και Μεταρρυθμίσεων διατύπωσε το Μεσοπρόθεσμο και Μακροπρόθεσμο Σχέδιο Ανάπτυξης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ως απάντηση στον νόμο για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας που εγκρίθηκε επίσημα το 2005. Σύμφωνα με αυτό το σχέδιο, η ετήσια παραγωγή ενέργειας από βιοκαύσιμα στοχεύει σε εξοικονόμηση βενζίνης και ντίζελ 10 εκατομμύρια και 2 εκατομμύρια τόνους ετησίως έως το 2030. Η Κίνα έχει επίσης καθιερώσει πρότυπα για το E10 (ένα μείγμα καυσίμου 10% αιθανόλης και βενζίνης), το M10 (ένα μείγμα καυσίμου 10% μεθανόλης και βενζίνης) και το D10 (ένα μείγμα καυσίμου 10% βιο - ντίζελ και ντίζελ). Σύμφωνα με τα εθνικά στατιστικά στοιχεία που ελήφθησαν το 2007, η ποσότητα των υπολειμμάτων της καλλιέργειας που ήταν διαθέσιμη για χρήση στην παραγωγή βιοκαυσίμων ήταν 750 εκατομμύρια τόνοι. Ωστόσο, 300 εκατομμύρια τόνοι υπολειμμάτων καλλιεργειών έμειναν εντελώς αχρησιμοποίητα. Καθορίστηκε ότι η Κίνα είχε επίσης 1,29 εκατομμύρια εκτάρια (ha) και κατάλληλα για παραγωγή ενεργειακών καλλιεργειών (γλυκό σόργο, μανιόκα, κ.λπ.) το 2012 (Kamm et al 2007, Yan J et al. 2009, Qiu H. et al 2010)

Ενώ υπήρχαν άφθονοι διαθέσιμοι πόροι βιομάζας στην Κίνα, η βιομηχανία βιοκαυσίμων της Κίνας δεν επεκτάθηκε γρήγορα πριν από το 2000. Το 2007, η παραγωγή BE και BD στην Κίνα ήταν 1,29 και 0,1 εκατομμύρια τόνοι αντίστοιχα. Εν τω μεταξύ, η κατανάλωση βενζίνης και ντίζελ στην Κίνα αυξήθηκε σε 6,89 και 14,6 εκατομμύρια τόνους [6] αντίστοιχα. Είναι σαφές μετά από προσεκτική ανάλυση των πόρων βιοκαυσίμων, της πιθανής ικανότητας παραγωγής υλικών βιοκαυσίμων και των επιπέδων παραγωγής βιοκαυσίμων ότι η βιομηχανία βιοκαυσίμων στην Κίνα βρίσκεται ακόμη στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης και πρέπει να σχεδιαστεί καλά. Είναι επίσης προφανές ότι για να επιτευχθεί η αποτελεσματική ανάπτυξη της παραγωγής βιοκαυσίμων στην Κίνα, το

δίκτυο της εφοδιαστικής αλυσίδας πρέπει να σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια 3E.

Αυτή η μελέτη επικεντρώθηκε στις ακόλουθες τρεις οδούς βιοκαυσίμων που είναι πιο σχετικές για την ανάπτυξη της προμήθειας βιοκαυσίμων της Κίνας: βιοαιθανόλη με ζύμωση, βιοντίζελ από ενεργειακές καλλιέργειες και βιομεθανόλη με αεριοποίηση ακολουθούμενη από σύνθεση FT (βιομάζα σε υγρό, BTL). Οι δύο πρώτες πορείες βιοκαυσίμων βιομηχανοποιήθηκαν με επιτυχία υπό την καθοδήγηση του 10ου Πενταετούς Σχεδίου (2001–2005) που ανακοινώθηκε στις αρχές του 2001. Το BTL αναφέρεται συχνά ως δίοδος βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς επειδή δεν χρησιμοποιεί δημητριακά ως πρώτη ύλη. Δεδομένης της έλλειψης καλλιεργήσιμης γης στην Κίνα, το BTL μπορεί να είναι το πιο υποσχόμενο μονοπάτι για την Κίνα (Ou X. et al. 2009, Floudas CA et al 2012).

Η μοντελοποίηση και η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας βιοκαυσίμων μπορεί να είναι δύο από τις πιο απαιτητικές εργασίες που αποτελούν μέρος της διαδικασίας παραγωγής βιοκαυσίμων. Ένα μοντέλο Mixed Integer Linear Programming (MILP) έχει προταθεί για τον προσδιορισμό των οικονομικά βέλτιστων θέσεων εργοστασίων, χωρητικότητας, θέσεων βιομάζας και υλικοτεχνικής υποστήριξης μεταφοράς για μια τεχνολογία μετατροπής δύο σταδίων (ταχεία πυρόλυση και σύνθεση FT).

Η μέθοδος Life Cycle Assessment χρησιμοποιείται ευρέως για την αξιολόγηση του αντίκτυπου της χρήσης βιοκαυσίμων με βάση το οικολογικό του αντίκτυπο. Μια λεπτομερής μελέτη για το BTL χρησιμοποιώντας ευρωπαϊκά δεδομένα συνέκρινε διαφορετικές πρώτες ύλες και διαδικασίες μετατροπής και εξέτασε τις επιπτώσεις του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη, του οικολογικού δείκτη 99 (H, A) και της οικολογικής σπανιότητας 2006 (Pt – βαθμοί). Μια μελέτη LCA έξι τύπων βιοκαυσίμων στην οποία εξετάστηκαν οι εκπομπές GHG και η χρήση ορυκτών στην Κίνα παρουσιάστηκε πρόσφατα. Οι συγγραφείς ισχυρίστηκαν ότι καμία από αυτές τις μεθόδους δεν είχε εμφανή αποτελέσματα εξοικονόμησης ενέργειας ή μείωσης των GHG λόγω της υπερβολικής χρήσης λιπασμάτων (Ma L. et al. 2012).

Η μέθοδος LCA έχει συχνά πραγματοποιηθεί με βάση τον μέσο όρο των τοπικών ή εθνικών δεδομένων προκειμένου να προσδιοριστεί η απόδοση ενός τύπου βιοκαυσίμου. Αυτή η πρακτική δεν λαμβάνει υπόψη τη μεγάλη διακύμανση στις αποστάσεις μεταφοράς και τους γεωγραφικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, η απόδοση μιας ενεργειακής καλλιέργειας ανά μονάδα επιφάνειας μπορεί να διαφέρει πολύ μεταξύ των

τοποθεσιών. Επιπλέον, η LCA δεν μπορεί να αντιμετωπίσει αντισταθμίσεις μεταξύ των στόχων της. Ωστόσο, αυτά τα προβλήματα μπορούν να επιλυθούν συνδυάζοντας την LCA σε ένα μοντέλο εφοδιαστικής αλυσίδας. Ένα στατικό μοντέλο MILP διαμορφώθηκε και δοκιμάστηκε στο στον τύπο βιοκαυσίμου BE για την ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους της εφοδιαστικής αλυσίδας και των εκπομπών GHG. Η συγκεκριμένη μέθοδος πρότεινε ένα μοντέλο MILP πολλαπλών στόχων για τη σύγκριση κατανεμημένων και κεντρικών δικτύων εφοδιαστικής αλυσίδας BTL. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων για να λύσουν το μοντέλο και να βρουν τη βέλτιστη καμπύλη Pareto για το συνολικό ετήσιο κόστος και τις εκπομπές ισοδύναμου CO₂. Η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων είναι μια από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους που έχει εφαρμοστεί για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων (Kim J et al. 2011).

Για την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων τελικά χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο εφοδιαστικής αλυσίδας MILP πολλαπλών στόχων. Σε αυτό το μοντέλο, συνδυάστηκε η μέθοδος LCA με τη μοντελοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας για να μελετηθούν οι αλλαγές μεταξύ των στόχων και να επιτρέψουμε την επιλογή μεταξύ κατανεμημένων μεταβλητών απόφασης.

Επίσης, έχει επιτευχθεί η ανάπτυξη ενός μοντέλου βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων για εφοδιαστικής αλυσίδας βιοκαυσίμων με ποικίλες παραγωγής, το οποίο έλαβε υπόψη τόσο οικονομικά όσο και οικολογικά κριτήρια. Το μοντέλο διατυπώθηκε ως πρόβλημα MILP και επιλύθηκε χρησιμοποιώντας το LCA και άλλα γεωγραφικά δεδομένα. Ως αποτέλεσμα, αυτό το μοντέλο μπορεί να αποτελέσει έναν καλό οδηγό για το σχεδιασμό και τον προγραμματισμό των εφοδιαστικών αλυσίδων βιοκαυσίμων. Σε το case study, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο για να σχεδιάσουμε μια πειραματική εφοδιαστική αλυσίδα βιοκαυσίμων για την Κίνα. Εξετάστηκαν τρεις τύποι βιοκαυσίμων και τέσσερις τύποι βιομάζας. Επιλέχθηκαν 25 πρότυπες επαρχίες ως πιθανές τοποθεσίες βιομάζας. Μια τοποθεσία για τις βέλτιστες λύσεις Pareto λήφθηκε με γραμμική παρεμβολή των πραγματικών λύσεων. Τα βέλτιστα αποτελέσματα περιελάμβαναν τη βέλτιστη διαδρομή, τον τύπο βιομάζας και τις γεωγραφικές θέσεις της βιομάζας καθώς και τη δομή της τοπολογίας του δικτύου στην εφοδιαστική αλυσίδα βιοκαυσίμων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μέγεθος των εργοστασίων με μεγαλύτερη χωρητικότητα, είχε μεγαλύτερη επίδραση στο δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας από το κόστος μεταφοράς των προϊόντων, καθώς εξασφάλιζε μεγαλύτερη άμεσα διαθέσιμη ποσότητα πόρων και προϊόντων. Μια

διερεύνηση της επίδρασης των αλλαγών των τιμών στις βέλτιστες λύσεις έδειξε ότι η οι γεωγραφικές θέσης των σημείων του δικτύου της εφοδιαστικής αλυσίδας ήταν αρκετά σημαντικές, εμφανίζοντας αρκετά μεγάλη διακύμανση στις αλλαγές τους (Ou X, et al 2009).

2.1.2 Γερμανία

Η μεταφορά και η διανομή των προϊόντων αναμεταξύ των χωρών έχει εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια και θα μπορούσε να αναλυθεί με ένα μοντέλο Failure Mode Effects and Analysis (FMEA), ώστε να πραγματοποιηθεί μια αποτελεσματική ανάλυση των κινδύνων της εφοδιαστικής αλυσίδας (SCR). Οι μελέτες που αναπτύσσονται με κέντρο την κεντρική Ευρώπη στοχεύουν στην αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, αναπτύσσοντας μια πρακτική διαδικασία διαχείρισης κινδύνου με βάση τις κατευθυντήριες γραμμές του ISO 31000 για τη διαχείριση κινδύνων της εφοδιαστικής αλυσίδας (SCRM) που συνδέει την αξιολόγηση, τον προσδιορισμό, την ανάλυση, την και την αντιμετώπιση του κινδύνου με τη βιωσιμότητα.

Για την ανάπτυξη μιας Βιώσιμης Διαχείρισης Κινδύνων Εφοδιαστικής Αλυσίδας (SSCRM), έχει προκύψει μια μελέτη περίπτωσης στην Γερμανία που βασίζεται σε κορυφαίο κατασκευαστή ηλεκτρικών προϊόντων, συλλέγει στοιχεία εφαρμογής του SSCRM. Ανάμεσα στα ευρήματα τους ήταν το γεγονός ότι οι ξαφνικές παύσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι από τα πιο κρίσιμα ζητήματα που μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την απόδοση της επιχείρησης. Η αποφυγή και ο μετριασμός των διαταραχών στην εφοδιαστική αλυσίδα είναι μία από τις κύριες προκλήσεις για όλους τους παράγοντες της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Παρά την εξάρτηση της συγκεκριμένης θεωρίας από πόρους (Pfeffer & Salancik, 1978) η θεωρία του Οργανισμού φαίνεται να αντιπροσωπεύει περισσότερο το θεωρητικό πλαίσιο για τη μελέτη της ανάγκης αξιολόγησης των κινδύνων της εφοδιαστικής αλυσίδας από την οργανωτική σκοπιά σε αυτή τη μελέτη, καθώς βοηθά στην αποκάλυψη προβλημάτων διαφορετικών συμφερόντων ιδιαίτερα στο outsourcing και προσπαθεί να εξασφαλίσει μια βέλτιστη συμβατική σχέση ανάμεσα στις βαθμίδες της εφοδιαστικής αλυσίδας, με στόχο τη μείωση του βαθμού αβεβαιότητας εντός της αλυσίδας. Η συγκεκριμένη θεωρία υπενθυμίζει στους επαγγελματίες και τους ερευνητές ότι μεγάλο μέρος του οικονομικού κόσμου βασίζεται σε κίνητρα και προσωπικά συμφέροντα (Eisenhardt, 1989; Bhattacharya & Singh, 2019). Αυτή η θεωρία μπορεί να τους

βοηθήσει να αξιολογήσουν τις πιθανότητες και τους κινδύνους, συμπεριλαμβανομένων των κοινωνικών, περιβαλλοντικών και οικονομικών πτυχών. Εκτός από αυτό, οι πόροι των επιχειρήσεων είναι περιορισμένοι (Oliver, 1997) και συχνά υπάρχει εξάρτηση των επιχειρήσεων από την εφοδιαστική αλυσίδα και γενικότερα από τους παραγωγούς των πρώτων υλών, τους παραγωγούς ενδιάμεσων προϊόντων και τους προμηθευτές αυτών (Fink, James & Hatten, 2011). Η συγκεκριμένη εξάρτηση λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψη κατά τον σχεδιασμό της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς οι μεμονωμένες πηγές περιορισμένων προϊόντων μπορούν να δημιουργήσουν εκτενή προβλήματα (Eisenhardt, 1989).

Οι Behzadi, O'Sullivan, Olsen και Zhang (2018) προσδιόρισαν την πληθώρα επιλογών προμηθευτών και την ανθεκτικότητα ως δύο βασικές τεχνικές για τη διαχείριση των κινδύνων και μελέτησαν μεθόδους για τη μέτρησή τους. Ομολογουμένως, αυτά τα δύο χαρακτηριστικά θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε κάθε πλαίσιο αξιολόγησης του κινδύνου για τη βιωσιμότητα εφοδιαστικής αλυσίδας. Σύμφωνα με αυτούς, «η πληθώρα επιλογών είναι η ικανότητα να αντέχεις τη διαταραχή με αποδεκτή απώλεια απόδοσης, ενώ η ανθεκτικότητα (δηλαδή σχέδια έκτακτης ανάγκης που μειώνουν το χρόνο μέχρι την ανάκαμψη) είναι η δυνατότητα γρήγορης ανάκαμψης από διακοπές της αλυσίδας». Αντίθετα, οι Curkovic, Scannell και Wagner (2013) πρότειναν το FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) ως εργαλείο για την αξιολόγηση της διαχείρισης κινδύνου της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι Varzandeh, Farahbod και Zhu (2014) και πραγματοποίησαν μια εμπειρική έρευνα της βιωσιμότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας και της διαχείρισης κινδύνου. Εκτός από τον τομέα διαχείρισης κινδύνου, οι Ratnasari, Hisjam και Sutopo (2018) αξιολόγησαν τη διαχείριση κινδύνου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο House Of Risk (HOR) που αποτελεί τροποποίηση μεταξύ των μεθόδων FMEA και HOQ (House of Quality).

Το μοντέλο χωρίζεται σε δύο στάδια, κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου εντοπίζονται οι κίνδυνοι και οι παράγοντες που προκαλούν κίνδυνο και στη συνέχεια ενσωματώνονται ποσοτικά, η σοβαρότητα και τα περιστατικά για τον υπολογισμό της συνολικής τιμής του κινδύνου. Το δεύτερο στάδιο αποσκοπεί στη διαμόρφωση και ιεράρχηση των ενεργειών μείωσης του κινδύνου και στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας της επιχείρησης για τη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης παραγόντων κινδύνου. Οι D'Amore, Mocellin, Vianello, Maschio και Bezzo (2018) πρότειναν ένα μοντέλο για τη βελτιστοποίηση της ευρωπαϊκής δέσμευσης και δέσμευσης για τη μείωση των εκπομπών του άνθρακα

συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης κοινωνικού κινδύνου και των μέτρων μείωσης του κινδύνου, οι Rostamzadeh, Ghorabae, Govindan, Esmaili και Nobar (2018) ανέπτυξαν μια ολοκληρωμένη ασαφή προσέγγιση TOPSIS - CRITIC για την αξιολόγηση του SSCRM. Για την αξιολόγηση των πτυχών της βιωσιμότητας, πρότειναν τρεις κατηγορίες, κυρίως: (1) Οργανωτική βιωσιμότητα, (2) κοινωνική ευθύνη και (3) περιβαλλοντική αιεφόρο ανάπτυξη. Επιπλέον χρησιμοποιείται ο ορισμός της βιωσιμότητας με την έννοια των βιώσιμων επιχειρηματικών πρακτικών που εφαρμόζουν οι Rostamzadeh et al. (2019), συμπεριλαμβανομένων των κοινωνικών, περιβαλλοντικών και οικονομικών πτυχών (Mills, Platts & Bourne, 2003).

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία οι Tang και Musa (2011) υποστήριξαν ότι υπάρχει «δυνατότητα στην ανάπτυξη ποσοτικών μοντέλων» για την επίλυση των αποφάσεων SSCRM με τον κατάλληλο τρόπο. Ενώ οι Xanthopoulos, Vlachos and Iakovou (2012) θέλησαν να χρησιμοποιήσουν ένα αναπτυγμένο πλαίσιο διαχείρισης κινδύνου διαταραχών για διαφορετικούς τύπους διακοπών εφοδιαστικής αλυσίδας, που σχετίζονται μεταξύ άλλων με την προμήθεια πρώτων υλών και το σύστημα διανομής. Η έρευνά προτείνει την εφαρμογή του τυποποιημένου πλαισίου από το ISO 31000 (2018) σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Η έρευνά φαίνεται να συμβαδίζει με την ανάγκη διαμόρφωσης και ιεράρχησης της δράσης σχετικά με τη μείωση του κινδύνου εμφάνισης δυσλειτουργιών στην εφοδιαστική αλυσίδα και προτείνεται από τους D'Amore et al. (2018). Έχουν οριστεί τρία επίπεδα κινδύνου για να απλοποιήσουμε την εκτίμηση κινδύνου και την αξιολόγηση κινδύνου πιθανών συμβάντων κινδύνου.

Σε αντίθεση με προηγούμενες προσεγγίσεις όπως η έρευνα των Kern, Moser, Hartmann και Moder (2012) που ανέπτυξαν ένα μοντέλο για τη διαχείριση κινδύνου της εφοδιαστικής αλυσίδας χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το στάδιο επικοινωνίας, διαβούλευσης, καταγραφής και αναφοράς, πιστεύουμε ότι το SSCRM είναι μια διαδικασία που συνδέεται στις αρχές που περιγράφονται στο ISO 31000 (2018) και στις βιώσιμες κατευθυντήριες γραμμές που ορίζονται στο ISO 26000 (2010) για τη μείωση του συνολικού κινδύνου για την εταιρική κοινωνική ευθύνη, με την εφαρμογή ενός προσαρμοσμένου πλαισίου. Ένα από τα κύρια οφέλη για την επιχείρηση από την εφαρμογή της προτεινόμενης διαδικασίας είναι ο γρήγορος εντοπισμός και αξιολόγηση πιθανών συμβάντων κινδύνου με δομημένο τρόπο, τυποποιώντας τη διαδικασία όσον αφορά την εφαρμογή των κατευθυντήριων γραμμών ISO 31000 (2018), ώστε οι κίνδυνοι

να μπορούν να μετατραπούν σε ευκαιρίες. για τη μείωση των διαταραχών της εφοδιαστικής αλυσίδας.

2.1.3 Πολωνία

Ο ρόλος της βιωσιμότητας στη λειτουργία της οικονομίας μιας χώρας είναι καθοριστικός για την απόδοση και την πορεία της οικονομίας της. Τα περιβαλλοντικά ζητήματα καθώς και τα πιθανά οικονομικά οφέλη από την εφαρμογή των αρχών του απαιτούν τη χρήση πολλαπλών μέσων που έχουν αναπτυχθεί για την βιώσιμη εφοδιαστική αλυσίδα. Επιπλέον, προκύπτουν και κοινωνικά ζητήματα, που εμπλέκουν την κοινωνική ευθύνη των εταιρειών, καθώς αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω π.χ. της προμήθειας φρέσκων προϊόντων, που πληρούν τα πρότυπα ασφάλειας για τον καταναλωτή. Σε αυτή τη βάση, ο στρατηγικός σχεδιασμός των εφοδιαστικών αλυσίδων μπορεί να τις βοηθήσει στην επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας, καθώς μπορεί να οδηγήσει στην επιλογή των τρόπων μεταφοράς, της βέλτιστης τοποθεσίας των κέντρων διανομής και τον κόμβων υπό τη σκοπιά του κόστους και των κριτηρίων ελαχιστοποίησης των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων. Υπό αυτό το πλαίσιο, ο σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας είναι να αναπτύξει και να χρησιμοποιήσει ένα μοντέλο λήψης αποφάσεων Multi - objective MILP (δηλαδή κόστους, κοινωνικού χρόνου και ελαχιστοποίησης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα) για το σχεδιασμό δικτύου βιώσιμων εφοδιαστικών αλυσίδων. Το συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόστηκε στην περίπτωση ενός εισαγωγέα φρούτων στην περιοχή της Βορειοανατολικής Ευρώπης λαμβάνοντας υπόψη τα σημεία του δικτύου διανομής του (Rohmer et al 2019).

Το συγκεκριμένο είδος προϊόντων (φρούτα) μεταφέρεται σε μονάδες ψυγείων (containers) μέσω ενός δικτύου διανομής που αποτελείται από ένα Loading Point (LP) στο λιμάνι του Πειραιά (Αθήνα, Ελλάδα), έξι πιθανά σημεία εισόδου (EPs) που βρίσκονται στα κατάλληλα σημεία της Αγοράς. και αντιπροσωπεύεται από διεθνή λιμάνια Ρίγα (Λετονία), Κλαϊπέντα (Λιθουανία), Γκντανσκ (Πολωνία), Chornomorsk (Ουκρανία) και κόμβους εσωτερικής μεταφοράς, σημεία διέλευσης συνόρων ((Κατοβίτσε (Πολωνία) και Βρέστη (Λευκορωσία) αντίστοιχα). Εξετάζονται τα Κέντρα Διανομής (DC) στη Ρίγα (Λετονία), Βίλνιους (Λιθουανία), Βαρσοβία (Πολωνία) και Μινσκ (Λευκορωσία). Από εκεί φορτηγά μεταφέρουν τις παραγγελίες στα καταστήματα λιανικής που είναι εγκατεστημένα σε τέσσερις Περιφερειακές Αγορές (RM δηλαδή

Λετονία, Λιθουανία, Πολωνία και Λευκορωσία), όπου οι τρεις πρώτες έχουν άμεση πρόσβαση στη θάλασσα, ενώ η Λευκορωσία είναι μια μεσόγεια χώρα .

Η υπό εξέταση περιοχή έχει καλά ανεπτυγμένη υποδομή μεταφορών. Ωστόσο, στην περίπτωση μας συνεργαζόμαστε με τρεις διαφορετικούς τρόπους μεταφοράς (δηλαδή, θαλάσσια, σιδηροδρομικά και οδικά) και δεν λαμβάνουμε υπόψη τις αεροπορικές μεταφορές καθώς είναι πολύ ακριβές και παραδοσιακά χρειάζονται διατροφικότητα (φορτηγά) μόνο στο «πρώτο και τελευταίο μίλι». Για τον ίδιο λόγο δεν θεωρούμε αποστολές υψηλής αξίας για προϊόντα με διάρκεια ζωής μικρότερη ή ίση με 1 εβδομάδα. Η ρεαλιστική περίπτωση που μελετάται αφορά τη μεταφορά ευπαθούς φορτίου σε εμπορευματοκιβώτια ψύξης (TEU) καθώς είναι η πλέον διαδεδομένη μονάδα φόρτωσης για μεγάλες αποστάσεις. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν λαμβάνεται υπόψη το η επιστροφή των άδειων κοντέινερ καθώς είναι εκτός του στόχου αυτής της εργασίας. Τα υπό διερεύνηση δίκτυα παρέχουν χωρική κάλυψη της γεωγραφικής περιοχής όπου όλες οι πιθανές αποστάσεις από την αρχή στον προορισμό είναι πάνω από 500 km (λιγότερο από 1 ημέρα μεταφοράς με φορτηγά). Υποθέτουμε ότι ένα τελικό τμήμα του SC παρουσιάζεται από τις δραστηριότητες που προσανατολίζονται στο λιανικό εμπόριο. Σε αυτήν την περίπτωση, η περιφερειακή αγορά γίνεται αποδεκτή από το φάσμα των καταστημάτων λιανικής πώλησης που είναι πιο συνδεδεμένα με την εγγύτητα των καταναλωτών και τα μικρά φορτηγά χρησιμοποιούνται για τις παραδόσεις «τελευταίου μιλίου» από το DC στη RM για την υποστήριξη της κινητικότητας και της ευελιξίας στην προσφορά (Rodrigue 2017).

Για να συνοψίσουμε το προτεινόμενο μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί στην μεταφορά ευπαθούς φορτίου στην Βορειοανατολική Ευρώπη είναι ένα εύχρηστο εργαλείο λήψης αποφάσεων που οδηγεί σε ένα όκληρο σύνολο πιθανών λύσεων που ενσωματώνουν συμβιβασμούς μεταξύ τριών πτυχών της βιωσιμότητας.

2.2 Η περίπτωση της AEOLIX

Η πλατφόρμα AEOLIX στοχεύει να γίνει ένας κόμβος ψηφιακής καινοτομίας για την προώθηση της επιστήμης και της τεχνολογίας της ανταλλαγής δεδομένων με σκοπό τη βελτίωση των συστημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η σημασία της πλατφόρμας AEOLIX στην παγκοσμιοποιημένη οικονομία είναι η άμεση κοινοποίηση της πληροφορίας σε όλα τα μέρη της εφοδιαστικής αλυσίδας, ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο τη διαχέτευση των πληροφοριών και διευκολύνει όλες τις

διαδικασίες. Αντιπροσωπεύει δηλαδή τη ραχοκοκαλιά των μελλοντικών εξαιρετικά πολύπλοκων και διευρυμένων παγκοσμίως εφοδιαστικών αλυσίδων και βοηθώντας τη βιωσιμότητα αυτών. Ορισμένοι κλάδοι βρίσκονται πιο μακριά στην εξέλιξη της ψηφιακής εφοδιαστικής αλυσίδας (DSC - Digital supply chain) από άλλες. Οι κατασκευαστές ηλεκτρονικών ειδών, για παράδειγμα, έχουν εξελιχθεί σχετικά με την κατασκευή και τη διαχείριση των DSC μέσω των μακροχρόνιων προσπαθειών τους να δημιουργήσουν δίκτυα παραγωγής με outsourcing. Αντίθετα οι εταιρίες και γενικότερα οι κλάδοι που δραστηριοποιούνται στο λιανικό εμπόριο και τα ευπαθή προϊόντα(τρόφιμα κλπ) δεν έχουν αναπτύξει σε τόσο μεγάλο φάσμα την εισαγωγή ψηφιακής πλατφόρμας στην εφοδιαστική αλυσίδα τους. Ωστόσο, οι τελευταίοι κλάδοι, ήδη εργάζονται για να εξελίξουν τα δίκτυα εφοδιαστικών αλυσίδων τους, εισάγοντας την συνεχόμενη πληροφόρηση και έχοντας ως απώτερο στόχο την μείωση του κόστους της εφοδιαστικής αλυσίδας και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Η πλατφόρμα AEOLIX αναπτύσσει μια συγκεκριμένη λύση για την αντιμετώπιση των προβλημάτων της κάθε εφοδιαστικής αλυσίδας σε όλη την έκταση της εφοδιαστικής αλυσίδας, διευρυμένη σε όλη την Ευρώπη από τα LL (Living Lab). Τα LL αποτελούν μια προσομοίωση της εφοδιαστικής αλυσίδας εξάγοντας συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα αυτής. Το AEOLIX Digital Innovation Hub (DIH) θα συγκεντρώνει τις πληροφορίες για τη διανομή αγαθών και υπηρεσιών γύρω από τη διαδικασία βελτιστοποίησης της εφοδιαστικής αλυσίδας από τη λύση της πλατφόρμας AEOLIX, στοχεύοντας με αυτό τον τρόπο στην καθετοποίηση των διαδικασιών.

Οι λύσεις που προκύπτουν από τα LL υιοθετούνται από τα κανάλια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Προκειμένου να προωθηθεί η πλατφόρμα AEOLIX DIH, πρέπει να βρεθούν τα πραγματικά στοιχεία και εφαρμόζοντας στην πράξη τις μεθόδους βελτιστοποίησης και εξάγοντας ρεαλιστικά συμπεράσματα, καθώς θα έχει προκύψει το πραγματικό κόστος και το πραγματικό κέρδος από τα αποτελέσματα της πλατφόρμας. Τα στοιχεία που εισάγουν πρέπει να περιλαμβάνουν: προμηθευτές πρώτων υλών, σημεία διανομής, κόστος μεταφοράς, κόστος αποθήκευσης και διατήρησης των προϊόντων σε καλή κατάσταση (OEM- Original equipment manufacturers) (Raimo et al. 2011, Lane et al.1998).Με αυτό τον τρόπο το DIH θα οδηγήσει επίσης στη βελτίωση της βιωσιμότητας.

Πίσω από τις μεγάλες δυνατότητες της ψηφιακής εφοδιαστικής αλυσίδας βρίσκεται η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση. Ένας μετασχηματισμός στην παραγωγή και τον

αυτοματισμό επήλθε πρώτα από την ισχύ ατμού και νερού (Βιομηχανία 1.0), στη συνέχεια με ηλεκτρισμό (2.0) και πιο πρόσφατα από τον ψηφιακό υπολογιστή (3.0). Το Industry 4.0, αφορά την ψηφιοποίηση, και αφορά όλες τις διαδικασίες που αφορούν προϊόντα, υπηρεσίες και διοχετεύουν σε IT συστήματα την πληροφορία σε όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Τελικά, σχεδόν κάθε πτυχή της επιχείρησης θα μεταμορφωθεί μέσω της κάθετης ολοκλήρωσης της έρευνας και ανάπτυξης, της κατασκευής, του μάρκετινγκ και των πωλήσεων και άλλων εσωτερικών λειτουργιών και νέων επιχειρηματικών μοντέλων, που βασίζονται σε αυτές τις προόδους.(Schrauf et al 2016).

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, τα «Digital Innovation Hubs» είναι one-stop-shops, που βοηθούν τις εταιρείες να γίνουν πιο ανταγωνιστικές όσον αφορά τις επιχειρηματικές/παραγωγικές διαδικασίες, τα προϊόντα ή τις υπηρεσίες τους χρησιμοποιώντας ψηφιακές τεχνολογίες. Βασίζονται σε τεχνολογική υποδομή (κέντρο ικανοτήτων) και παρέχουν πρόσβαση στην πιο πρόσφατη γνώση, τεχνογνωσία και τεχνολογία για να υποστηρίξουν τους πελάτες τους στην έρευνα για πιλοτικά, δοκιμές και πειραματισμούς με ψηφιακές καινοτομίες. Τα DIH παρέχουν επίσης επιχειρηματική και χρηματοδοτική υποστήριξη σε αυτές τις καινοτομίες, εάν χρειαστεί σε ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα. Καθώς η εγγύτητα θεωρείται ζωτικής σημασίας, λειτουργούν ως πρώτο περιφερειακό σημείο επαφής και ενισχύουν την καινοτομία στο οικοσύστημα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το DIH είναι μια σύμπραξη πολλών και διαφορετικών εταίρων (συμπεριλαμβανομένων οργανισμών όπως RTO, πανεπιστήμια, βιομηχανικές ενώσεις, εμπορικά επιμελητήρια, θερμοκοιτίδες/επιταχυντές, φορείς περιφερειακής ανάπτυξης και ακόμη και κυβερνήσεις) και μπορεί επίσης να έχει ισχυρούς δεσμούς με παρόχους υπηρεσιών εκτός του φάσματος δράσης τους, που υποστηρίζουν εταιρείες με πρόσβαση στις υπηρεσίες τους. Ένας κόμβος καινοτομίας αποτελείται από ένα σύστημα συνδέσεων που ενώνει άτομα, εταιρείες, νεοφυείς επιχειρήσεις και θερμοκοιτίδες για να μετατρέψουν τις καινοτόμες ιδέες σε τεχνολογικά εφικτές λύσεις. Λόγω του μεταβαλλόμενου τοπίου της καινοτομίας, στην εφοδιαστική αλυσίδα γίνεται ολοένα και περισσότερο δύσκολο να προχωρήσει κάποια εταιρία σε καινοτομίες και να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα έναντι των υπόλοιπων ανταγωνιστών τους. Κατά συνέπεια, οι επιχειρήσεις στρέφονται όλο και περισσότερο προς την καθετοποίηση των διαδικασιών τους, μια στρατηγική καινοτόμων δραστηριοτήτων που περιλαμβάνει συνεργασίες με εξωτερικούς εταίρους σε όλα τα στάδια της αλυσίδας τους, συμπεριλαμβανομένων πανεπιστημίων, συνεργατών, προμηθευτών και ανταγωνιστών.

Οι ιδέες που δημιουργούνται τόσο εντός όσο και εκτός της εταιρείας καθώς και οι εσωτερικές και εξωτερικές κόμβοι προς την αγορά χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών. Οι κόμβοι καινοτομίας έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικός παράγοντας για την ανάπτυξη και επιταχύνουν την επίλυση προβλημάτων, τη δημιουργία ιδεών και την ποιότητα των καινοτομιών. (Giaccone & Longo, 2016).

Καταλήγοντας, η πλατφόρμα AEOLIX μπορεί να αποτελέσει δύο συμπληρωματικούς ρόλους σε μια βιώσιμη εφοδιαστική αλυσίδα παγκόσμιας εμβέλειας, χρησιμοποιώντας δεδομένα και τεχνολογία για τη βελτίωση του οικοσυστήματος:

- Μέσω της AEOLIX μπορεί να διεξαχθεί έρευνα με γνώμονα την αγορά (με γνώμονα τον τελικό χρήστη), που υποστηρίζει την ανάπτυξη (μέσω spin-off προϊόντων/εταιρειών) σε όλους τους κλάδους της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα συγκεκριμένα έργα, με γνώμονα τον τελικό χρήστη, χρησιμοποιούν μια επαναληπτική διαδικασία για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών, με βάση τις ανάγκες και όσα δεδομένα απαιτεί ο πελάτης, ώστε να βελτιστοποιήσει την διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας.
- Η AEOLIX μπορεί να αποτελέσει το “σπίτι” της θεμελιώδους έρευνας και καινοτομίας, που προάγει την επιστήμη και την τεχνολογία της ελεύθερης ανταλλαγής - διακίνησης δεδομένων.

Το AEOLIX θα μπορεί να διαγνώσει τις ανάγκες και την ετοιμότητα μιας εταιρείας σε σχέση με τις ψηφιακές τεχνολογίες και τα κενά δεδομένων στα logistics, παρέχοντας ανατροφοδότηση για το επίπεδο ωριμότητάς της σε σχέση με τις ψηφιακές τεχνολογίες και εντοπίζοντας πιθανές λύσεις και θα παρέχει τις ανάλογες υπηρεσίες. Ανεξάρτητα από το στάδιο στο οποίο βρίσκονται οι εταιρίες στο ταξίδι τους στην ψηφιοποίηση, μπορούν να υποστηριχθούν με συμβουλές βήμα προς βήμα σχετικά με τις ψηφιακές τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν μέσω των Ψηφιακών Σχεδίων Βιομηχανίας (IDPs) για τις SMEs (Small and medium-sized enterprises) που πρόκειται να δημιουργηθούν για κάθε κλάδο εφοδιαστικής αλυσίδας, μέσω της πλατφόρμας. Τα MME, στον τομέα της εφοδιαστικής αλυσίδας, μπορούν να αξιοποιήσουν προ εγκεκριμένες ψηφιακές λύσεις (μέσω της εργαλειοθήκης AEOLIX) για να εξορθολογήσουν τις επιχειρηματικές διαδικασίες και να συνδεθούν ψηφιακά με τους επιχειρηματικούς εταίρους τους εντός του οικοσυστήματος ή της ίδιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι λύσεις μπορούν να επιλεγούν με βάση κριτήρια όπως η ευκολία χρήσης, η τιμολόγηση, εάν πληρούν τις απαιτήσεις των SMEs και την ικανότητα των προμηθευτών, αν είναι συμβατές με

πρότυπα, αν ικανοποιούν την ασφάλεια και την προστασία των δεδομένων, αν μπορεί να γίνει εύκολη ανάλυση δεδομένων και αν υπάρχει δια λειτουργικότητα με άλλα συστήματα. Η AEOLIX είναι ένας κατάλογος προ εγκεκριμένων υπηρεσιών με προκαθορισμένα κριτήρια και μπορεί να επεκταθεί σε υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας, (Giaccone and Longo 2016).

2.3 Μοντέλο εφαρμογής Dynamic Gapper

Το Dynamic Gapper αποτελεί ένα εργαλείο προσομοίωσης, με τη χρήση του οποίου μπορεί να βελτιστοποιηθούν οι διεργασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας, μειώνοντας περαιτέρω το κόστος και το ανθρακικό αποτύπωμα της αλυσίδας.

Βοηθώντας στη βελτίωση της ακρίβειας διανομής και της ταχύτητας διεκπεραίωσης των διεργασιών της SC, οι ειδικοί της Bastian Solutions μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό της βέλτιστης τοποθεσίας και σχεδίασης μιας λύσης με το πρότυπο Dynamic Gapper. Εφαρμόζεται σε όλες τις βιομηχανίες για την διαχείριση μιας ποικιλίας μεγεθών και βαρών συσκευασίας, ώστε να επιτευχθούν νέα επίπεδα αυτοματοποιημένης ακρίβειας ταξινόμησης.

Η εφαρμογή Dynamic Gapper συχνά χρησιμοποιείται ώστε ένα ψηφιακό δίδυμο μεταφορών να βοηθά στην κάλυψη νέων απαιτήσεων intralogistics. Σε αυτήν την τυπική εφαρμογή intralogistics, δύο μεταφορείς φέρνουν δέματα διαφορετικών μεγεθών και όχι ομοιόμορφα διαχωρισμένων σε έναν κοινό μεταφορικό μάντα, όπου τα δέματα τοποθετούνται και διαχωρίζονται στη σωστή καθορισμένη απόσταση μεταξύ τους. Η εταιρεία δείχνει τόσο την πραγματική εφαρμογή όσο και την προσομοίωση της. Η ακριβής προσομοίωση λαμβάνει χώρα πριν ξεκινήσει η πραγματική κατασκευή. Αυτό επιτρέπει στην εφαρμογή να βελτιστοποιείται ουσιαστικά και να επικυρώνεται, γεγονός που μειώνει τον χρόνο ανάπτυξης και μηχανικής για τους κατασκευαστές μηχανών έως και 35 τοις εκατό. Οι φορείς εκμετάλλευσης κέντρων logistics επωφελούνται επίσης από την ψηφιακή εφαρμογή, επειδή με τη βοήθειά του οι χρόνοι λειτουργίας και οι νεκρού χρόνοι μπορούν επίσης να μειωθούν έως και 45 τοις εκατό. Ολόκληρο το υλικό καθώς και το σύστημα ελέγχου με όλες τις λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένης της επικοινωνίας, της ασφάλειας και του διακομιστή web μπορούν να προσομοιωθούν ως μέρος μιας εικονικής θέσης σε λειτουργία. Στο μεταξύ, η πραγματική εφαρμογή μπορεί να κατασκευαστεί και να συνδεθεί και είναι έτοιμη για την θέση της σε λειτουργία σε

πραγματικό χρόνο. Αυτό στη συνέχεια συνίσταται κυρίως στη φόρτωση του προγράμματος και στην άμεση μεταφορά των παραμέτρων.

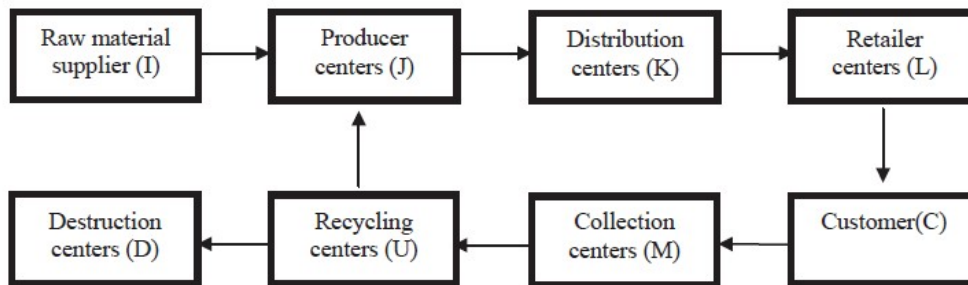
Η πραγματική εφαρμογή μπορεί επίσης να βελτιστοποιηθεί περαιτέρω κατά τη λειτουργία. Με τη σύνδεση σε μια πλατφόρμα cloud ή edge, πολύτιμα δεδομένα διεργασιών μπορούν να συλλεχθούν και να αναλυθούν κατά τη λειτουργία. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους χειριστές των κέντρων intralogistics να ανταποκρίνονται γρήγορα σε αλλαγές όπως ο αυξημένος όγκος παράδοσης και να δημιουργούν βιώσιμες, ευέλικτες και επεκτάσιμες διαδικασίες (Noirot et al 2014).

Τέλος, το Dynamic Gapper αποτελεί ένα εργαλείο προσομοίωσης, έτσι ώστε να παρατηρούνται τυχόν δυσλειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας και να διορθώνονται πριν την εφαρμογή τους, ούτως ώστε να εξαλείφονται προβλήματα που δύναται να προβλεφθούν μέσω της συγκεκριμένης διαδικασίας.

3 Ανάπτυξη γραμμικού μοντέλου βελτιστοποίησης βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας

3.1 Μαθηματικό Μοντέλο

Λαμβάνοντας υπόψη την παραγωγή ευπαθών προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων των τροφίμων, των γαλακτοκομικών και των φαρμάκων, η σωστή διανομή και διαχείριση αυτών των αγαθών και προϊόντων, ο σχεδιασμός δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας για διαχείριση στην παραγωγή και τη διανομή και η σωστή μεταφορά αυτών των αγαθών και προϊόντων στα κέντρα διανομής είναι υψίστης σημασίας. Ως εκ τούτου, οι παραγωγοί θα πρέπει να εξετάσουν τόσο τον χρόνο διατήρησης των αγαθών από την μία όσο και την προσπάθεια διοχέτευσής τους στην αγορά από την άλλη. Θα πρέπει να εξετάσουν την καλύτερη κατάσταση των προϊόντων για την αγορά και την αποθήκευση του συνόλου των εμπορευμάτων. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα ερευνηθεί η ανάπτυξη ενός μοντέλου που λαμβάνει υπόψη τόσο το κόστος εφοδιασμού ενός δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας όσο και το επίπεδο της εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου. Έτσι, ένα δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας ευπαθών προϊόντων αποτελείται από οκτώ επίπεδα, συμπεριλαμβανομένων των προμηθευτών πρώτων υλών, του τελικού προϊόντος, τους παραγωγούς, τους διανομείς, τους λιανοπωλητές, τα κέντρα συλλογής, τα κέντρα ανακύκλωσης, και τους τελικούς πελάτες.



Εικόνα 1. Το προτεινόμενο δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας για ευπαθή προϊόντα

Σύμφωνα με την εικόνα 1, οι προμηθευτές πρώτων υλών παρέχουν την απαιτούμενη πρώτη ύλη και το υλικό για την παραγωγή των προϊόντων λαμβάνοντας υπόψη την έκπτωση από τους παραγωγούς. Δεδομένης της αβέβαιης ζήτησης των πελατών για κάθε τύπο προϊόντος, οι παραγωγοί παράγουν τα προϊόντα και τα μεταφέρουν στα κέντρα διανομής. Λαμβάνοντας υπόψη τον χρόνο παραγωγής και αποσύνθεσης του προϊόντος,

Τα κέντρα διανομής αποθηκεύουν ορισμένα προϊόντα για διανομή μέσα στις επόμενες περιόδους, εάν χρειαστεί, ενώ κάποια άλλα μεταφέρονται στον λιανοπωλητή και στα κέντρα προς πώληση. Τα κέντρα λιανικής αποθηκεύουν τα τελικά προϊόντα στις δικές τους αποθήκες ή τα μεταφέρουν στις περιοχές πελατών ενώ εξετάζεται ο χρόνος διατήρησης αναλλοίωτου προϊόντος, ο χρόνος παραγωγής και ο χρόνος παράδοσης. Από τη άλλη πλευρά στο δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας, τα κέντρα συλλογής συλλέγουν μέρος των προϊόντων και μετά από έρευνα αποφασίζουν εάν μπορούν να ανακυκλωθούν ή να επαναχρησιμοποιηθούν μεταχειρισμένα, και αποστέλλονται στα κέντρα επαναχρησιμοποίησης. Διαφορετικά, θα αποστέλλονταν στα κέντρα καταστροφής (Ben-Tal et al 1998).

Λαμβάνοντας υπόψη τις ακόλουθες παραδοχές, το πρόβλημα του δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας για τα ευπαθή προϊόντα μοντελοποιείται ως εξής:

1. Διάφοροι τύποι ευπαθών αγαθών εξετάζονται για το σχεδιασμό του δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας.
2. Το πρόβλημα είναι πολλαπλών περιόδων και ο ορίζοντας προγραμματισμού του είναι μεσοπρόθεσμος.
3. Η τοποθεσία των εγκαταστάσεων και των κέντρων αναμένει ότι ο αριθμός πελατών είναι αβέβαιος.
4. Παράμετροι όπως η ζήτηση, το κόστος λειτουργίας, το κόστος μεταφοράς του αγαθού και η χωρητικότητα του κέντρου διανομής αγαθών είναι αβέβαια.
5. Αποθήκη των κέντρων διανομής και παραγωγής έχουν αξιόπιστη απογραφή σε κάθε περίοδο.
6. Το έλλειμμα επιτρέπεται με τη μορφή εκκρεμοτήτων και ότι τα αιτήματα των μερών θα πρέπει να ικανοποιηθούν μέχρι την τελευταία χρονική περίοδο.
7. Τα εμπορεύματα στο κέντρο διανομής αποστέλλονται στον πελάτη μέσω της ουράς διανομής σύμφωνα με την εκάστοτε υπηρεσία
8. Το ποσοστό εξυπηρέτησης στα κέντρα διανομής είναι βέβαιο.
9. Η αγορά πρώτων υλών για την παραγωγή αγαθών είναι ως εκθετική έκπτωση.
10. Το μοντέλο θεωρείται ότι έχει δύο αντίθετους στόχους που περιλαμβάνουν: μείωση του κόστους σχεδίασης δικτύου και μείωση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου.

Εισάγουμε τόσο στρατηγικούς όσο και τακτικούς στόχους. Ο στρατηγικός στόχος αφορά την επιλογή του αριθμού και τη θέση των πιθανών εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανομένων των προμηθευτών πρώτων υλών, των παραγωγών τελικών

προϊόντων, των διανομών ανά ράφια, τα κέντρα ανακύκλωσης και τα κέντρα καταστροφής. Οι τακτικοί στόχοι είναι: η σωστή μεταφορά ευπαθών προϊόντων μεταξύ επιλεγμένων προϊόντων μεταξύ των επιλεγμένων εγκαταστάσεων, το βέλτιστο επίπεδο αποθήκευσης ευπαθών προϊόντων στη διανομή, αποθήκες και κέντρα λιανικής όσον αφορά το χρόνο παραγωγής και τη φθορά, και επιλέγοντας το κατάλληλο επίπεδο έκπτωσης για αγορά ακατέργαστων υλικών με τέτοιο τρόπο ώστε (1) Το κόστος του σχεδιασμού του δικτύου της εφοδιαστικής αλυσίδας να ελαχιστοποιείται και (2) η ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπεται από τη μεταφορά υλικών μεταξύ των εγκαταστάσεων να είναι η ελάχιστη δυνατή (Baird et al. 2011).

Η αντικειμενική συνάρτηση (1) στοχεύει στην ελαχιστοποίηση του κόστους σχεδιασμού του δικτύου της εφοδιαστικής αλυσίδας: το πρώτο μέρος αυτών των δαπανών είναι το κόστος της δημιουργίας πιθανών κέντρων· το δεύτερο μέρος αυτών των δαπανών αφορά το κόστος αποθήκευσης των ευπαθών προϊόντων στην αποθήκη των κέντρων παραγωγής και διανομής· το τρίτο μέρος σχετίζεται με τη μεταφορά το κόστος των ευπαθών προϊόντων μεταξύ των κέντρων και των λειτουργικών εξόδων. Η τέταρτη ενότητα περιγράφει το κόστος αγοράς πρώτων υλών, συμπεριλαμβανομένων των πιθανών εκπτώσεων που προκύπτουν σε ρεαλιστικές καταστάσεις. Η αντικειμενική συνάρτηση (2) ελαχιστοποιεί τα αέρια θερμοκηπίου εκπομπές που προκύπτουν από τη μεταφορά ευπαθών προϊόντων μεταξύ των κέντρων.

$$\begin{aligned}
\min \omega 1 = & \sum_{i=1}^I F_i Z_i + \sum_{j=1}^J F_j Z_j + \sum_{k=1}^K F_k Z_k + \sum_{l=1}^L F_l Z_L + \sum_{m=1}^M F_m Z_m + \sum_{u=1}^U F_u Z_u + \sum_{d=1}^D F_d Z_d + \\
& \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^T h_{kp} Q_{kptr} + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{e=r}^T h'_{lp} Q'_{lptre} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T TII_{ijp} X_{ijpt} + \\
& \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T TJK_{jkp} Y_{jkpt} + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T TKL_{klp} W_{klpt} + \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T TLC_{lcp} V_{lcpt} + \\
& \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T TCM_{cmp} U_{cmpt} + \sum_{m=1}^M \sum_{d=1}^D \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T TMD_{mdp} N_{mdpt} + \\
& \sum_{m=1}^M \sum_{u=1}^U \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T TMU_{mup} S_{mupt} + \sum_{u=1}^U \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T TUJ_{ujp} A_{ujpt} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{jp} Y_{jkpt} + \\
& \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{kp} W_{klpt} + \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T C_{mp} U_{cmpt} + \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \pi_{cpt} \omega_{cpt} + \\
& \sum_{i=1}^I \sum_{b=1}^B \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T pr_{ibp} M_{ibpt} X_{ijpt}
\end{aligned}$$

(1)

$$\begin{aligned}
\min \omega 2 = & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T CI_{ijp} X_{ijpt} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T CJK_{jkp} Y_{jkpt} + \\
& \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T CKL_{klp} W_{klpt} + \sum_{l=1}^L \sum_{c=1}^C \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T CLC_{lcp} V_{lcpt} + \\
& \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T CCM_{cmp} U_{cmpt} + \sum_{m=1}^M \sum_{d=1}^D \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T CMD_{mdp} N_{mdpt} + \\
& \sum_{m=1}^M \sum_{u=1}^U \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T CMU_{mup} S_{mupt} + \sum_{u=1}^U \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T CUJ_{ujp} A_{ujpt}
\end{aligned}$$

(2)

Το κριτήριο (3) υποδεικνύει την ποσότητα της πρώτης ύλης που απαιτείται για την παραγωγή αντίστοιχων ευπαθών προϊόντων. Τα κριτήρια (4)–(6) καθορίζουν το επίπεδο αποθέματος των προϊόντων λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο αποσύνθεσης σε διαφορετικές χρονικές περιόδους στο κέντρο διανομής. Τα κριτήρια (7)–(8) προσδιορίζουν τη συνολική ροή για έναν τύπο ευπαθούς προϊόντος από τον παραγωγό στον διανομέα κατά τον χρόνο παραγωγής. Τα κριτήρια (9)–(10) υποδεικνύουν το απόθεμα επίπεδο τελικών προϊόντων για έναν παραγωγό με βάση τον χρόνο παραγωγής του. Τα κριτήρια (11)–(13) υποδεικνύουν το επίπεδο αποθέματος των τελικών προϊόντων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους στα κέντρα (Costantino et al 2016).

$$\sum_{i=1}^I X_{ijpt} + \sum_{r=1}^R A_{rjpt} = \sum_{k=1}^K Y_{jkpt}, \quad \forall j, p, t \quad (3)$$

$$\sum_{r=1}^t Q_{kptr} = \sum_{j=1}^J Y_{jkpt} - \sum_{l=1}^L W_{klpt}, \quad \forall k, p, t = 1 < u_p \quad (4)$$

$$\sum_{r=1}^t Q_{kptr} = \sum_{r=1}^{t-1} Q_{kpt-1r} + \sum_{j=1}^J Y_{jkpt} - \sum_{l=1}^L W_{klpt}, \quad \forall k, p, 1 < t < u_p \quad (5)$$

$$\sum_{r=t+1-u_p}^t Q_{kptr} = \sum_{r=t+1-u_p}^{t-1} Q_{kpt-1r} + \sum_{j=1}^J Y_{jkpt} - \sum_{l=1}^L W_{klpt}, \quad \forall k, p, t \geq u_p \quad (6)$$

$$W_{klpt} = \sum_{r=1}^t T_{klptr}, \quad \forall k, l, p, t < u_p \quad (7)$$

$$W_{klpt} = \sum_{r=t+1-u_p}^t T_{klptr}, \quad \forall k, l, p, t \geq u_p \quad (8)$$

$$Q_{kptr} = \sum_{j=1}^J Y_{jkpt} - \sum_{l=1}^L T_{klptr}, \quad \forall k, p, t = r \quad (9)$$

$$Q_{kptr} = Q_{kpt-1r} - \sum_{l=1}^L T_{klptr}, \quad \forall k, p, t - r < u_p \quad (10)$$

$$\sum_{e=r}^t \sum_{r=1}^t Q'_{lptre} = \sum_{k=1}^K W_{klpt} - \sum_{c=1}^C V_{lcpt}, \quad \forall l, p, t = 1 < u_p \quad (11)$$

$$\sum_{e=r}^t \sum_{r=1}^t Q'_{lptre} = \sum_{e=r}^{t-1} \sum_{r=1}^{t-1} Q'_{lpt-1re} + \sum_{k=1}^K W_{klpt} - \sum_{c=1}^C V_{lcpt}, \quad \forall l, p, 1 < t < u_p \quad (12)$$

$$\sum_{e=r}^{r+u_p-1} \sum_{r=t-u_p+1}^t Q'_{lptre} = \sum_{e=r}^{t-1} \sum_{r=t-u_p+1}^{t-1} Q'_{lpt-1re} + \sum_{k=1}^K W_{klpt} - \sum_{c=1}^C V_{lcpt}, \quad \forall l, p, t \geq u_p \quad (13)$$

Τα κριτήρια (14)–(17) διερευνούν την παραγωγή ευπαθών προϊόντων με βάση το χρόνο παραγωγής των προϊόντων. Το κριτήριο (18) εγγυάται ότι η συνολική ζήτηση των πελατών για κάθε προϊόν ικανοποιείται μέχρι το τέλος της χρονικής περιόδου. Το κριτήριο (19). Τα κριτήρια (20)–(21) υπολογίζουν και υποδεικνύουν την ποσότητα ανακυκλώσιμων και μη ανακυκλώσιμων προϊόντων σε κάθε κέντρο συλλογής. Ο περιορισμός (22) εγγυάται ότι τα ανακυκλώσιμα προϊόντα αποστέλλονται στα κέντρα παραγωγής μετά την ανακύκλωση. Τα κριτήρια (23)–(29) υποδεικνύουν τη χωρητικότητα των δυνητικών κέντρων αντίστοιχα. Εάν δημιουργηθεί ένα δυνητικό κέντρο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέγιστη χωρητικότητα αυτής της εγκατάστασης. Τα κριτήρια (30)–(32) υποδεικνύουν τους περιορισμούς που σχετίζονται με τη χρήση της συνολικής έκπτωσης για την αγορά πρώτης ύλης από τους προμηθευτές. Το κριτήριο (33) υποδεικνύει την πιθανότητα παραβίασης του μήκους της ουράς των κέντρων διανομής για εξυπηρέτηση. Τα κριτήρια (34)–(36) δείχνουν τους λογικούς περιορισμούς του προβλήματος. Τέλος, τα κριτήρια (37) έως (39) δείχνουν το φύλο και το είδος των μεταβλητών απόφασης (Costantino et al 2016).

$$V_{lcp t} = \sum_{e=r}^t \sum_{r=1}^t B_{lcp tre}, \quad \forall l, c, p, t < u_p \quad (14)$$

$$V_{lcp t} = \sum_{e=r}^{r+u_p-1} \sum_{r=t-u_p+1}^t B_{lcp tre}, \quad \forall l, c, p, t \geq u_p \quad (15)$$

$$Q'_{lptre} = \sum_{k=1}^K T_{klp tr} - \sum_{c=1}^C B_{lcp tre}, \quad \forall l, p, r, t = e \quad (16)$$

$$Q'_{lptre} = Q'_{lpt-1re} - \sum_{c=1}^C B_{lcp tre}, \quad \forall l, p, r, t - e < u_p \quad (17)$$

$$\sum_{l=1}^L V_{lcp t} + \varpi_{t < T}^{cpt} - \varpi_{cpt-1} \geq D_{cpt}, \quad \forall c, p, t \quad (18)$$

$$\sum_{m=1}^M U_{mcp t} = \omega \sum_{l=1}^L V_{lcp t-1}, \quad \forall c, p, t \quad (19)$$

$$(1 - \tau) \sum_{c=1}^C U_{cmpt} = \sum_{d=1}^D N_{mdpt}, \quad \forall m, p, t \quad (20)$$

$$\tau \sum_{c=1}^C U_{cmpt} = \sum_{u=1}^U S_{mupt}, \quad \forall m, p, t \quad (21)$$

$$\sum_{m=1}^M S_{mupt} = \sum_{j=1}^J A_{ujpt}, \quad \forall u, p, t \quad (22)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ijpt} \leq ca_{ip} Z_i, \quad \forall i, p, t \quad (23)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_{jkpt} \leq ca_{jp} Z_j, \quad \forall j, p, t \quad (24)$$

$$\sum_{k=1}^K W_{k|p|t} \leq ca_{lp} Z_l, \quad \forall l, p, t \quad (25)$$

$$\sum_{j=1}^J Y_{j|k|p|t} \leq ca_{kp} Z_k, \quad \forall k, p, t \quad (26)$$

$$\sum_{c=1}^C U_{c|m|p|t} \leq ca_{mp} Z_m, \quad \forall m, p, t \quad (27)$$

$$\sum_{m=1}^M N_{m|d|p|t} \leq ca_{dp} Z_d, \quad \forall d, p, t \quad (28)$$

$$\sum_{m=1}^M S_{m|u|p|t} \leq ca_{up} Z_u, \quad \forall u, p, t \quad (29)$$

$$M_{i|b|p|t} \Psi_{i|b|p|t} \leq \Theta_{i|p|t}, \quad \forall i, b, p, t \quad (30)$$

$$\sum_{b=1}^B M_{i|b|p|t} = Z_i, \quad \forall i, p, t \quad (31)$$

$$\Theta_{i|p|t} = \sum_{j=1}^J X_{i|j|p|t}, \quad \forall i, p, t \quad (32)$$

$$P\{\text{Length of } k^{\text{th}} \text{ distribution center queue in period } t > B_k\} \leq \theta_k, \quad \forall k, t \quad (33)$$

$$Q_{k|p|t} = 0 \quad \forall k, p, t < r \quad (34)$$

$$Q_{l|p|t} = 0 \quad \forall l, p, e, t < r \quad (35)$$

$$Q_{l|p|t} = 0 \quad \forall l, p, t, e < r \quad (36)$$

Δείκτες

$i = \{1, \dots, I\}$ Πιθανά σημεία προμηθευτή πρώτων υλών

$j = \{1, \dots, J\}$ Δυνητικά σημεία των κέντρων παραγωγών

$k = \{1, \dots, K\}$ Δυνητικά σημεία των κέντρων διανομής

$l = \{1, \dots, L\}$ Πιθανά σημεία των κέντρων λιανικής

$c = \{1, \dots, C\}$ Δυνητικά σημεία τελικών πελατών

$m = \{1, \dots, M\}$ Πιθανά σημεία κέντρων συλλογής

$d = \{1, \dots, D\}$ Πιθανά σημεία κέντρων καταστροφής

$u = \{1, \dots, U\}$ Πιθανά σημεία κέντρων ανακύκλωσης

$p = \{1, \dots, P\}$ Πρώτες ύλες και τελικά προϊόντα

$t = \{1, \dots, T\}$ Χρονική περίοδος

$r = \{1, \dots, T\}$ Χρόνος παραγωγής προϊόντος

$e = \{1, \dots, T\}$ Χρόνος παράδοσης προϊόντος

$b = \{1, ,B\}$ Επίπεδο έκπτωσης

Παράμετροι

F_i Το κόστος ίδρυσης του κέντρου προμήθειας πρώτων υλών i

F_j Το κόστος ίδρυσης του κέντρου παραγωγής j

F_k Το κόστος ίδρυσης του κέντρου διανομής k

F_l Το κόστος ίδρυσης του κέντρου διανομής l

F_m Το κόστος ίδρυσης του κέντρου συλλογής m

F_u Το κόστος ίδρυσης του κέντρου ανακύκλωσης u

F_d Το κόστος ίδρυσης του κέντρου καταστροφής δ

T_{Iijr} Το κόστος μεταφοράς μιας μονάδας πρώτης ύλης r μεταξύ της πρώτης ύλης κέντρο προμηθευτή υλικών i και κέντρο παραγωγής j

T_{JKjkr} Το κόστος μεταφοράς μιας μονάδας τελικού προϊόντος r μεταξύ των κέντρο παραγωγής j και το κέντρο διανομής k

T_{KLklr} Το κόστος μεταφοράς μιας μονάδας τελικού προϊόντος r μεταξύ των κέντρο διανομής k και το κέντρο λιανικής l

T_{LClcr} Το κόστος μεταφοράς μιας μονάδας τελικού προϊόντος r μεταξύ των κέντρο λιανικής l και ο πελάτης γ

T_{CMcmr} Το κόστος μεταφοράς μιας μονάδας πρώτης ύλης r μεταξύ των πελάτης γ και το κέντρο συλλογής m

T_{MUmur} Το κόστος μεταφοράς μιας μονάδας τελικού προϊόντος r μεταξύ των κέντρο συλλογής m και το κέντρο ανακύκλωσης u

$T_{MDm\delta r}$ Το κόστος μεταφοράς μιας μονάδας τελικού προϊόντος r μεταξύ των κέντρο συλλογής m και το κέντρο καταστροφής δ

$T_{Uj\delta r}$ Το κόστος μεταφοράς μιας μονάδας τελικού προϊόντος r μεταξύ των κέντρο ανακύκλωσης u και το κέντρο παραγωγής j

C_{Iijr} Επίπεδο εκπομπών αερίου ανά μεταφορά μιας μονάδας πρώτης ύλης μεταξύ του κέντρου προμηθευτή πρώτων υλών i και του κέντρου παραγωγής j

C_{JKjkr} Επίπεδο εκπομπών αερίων ανά μεταφορά μιας μονάδας τελικού προϊόντος r μεταξύ του κέντρου παραγωγής j και του κέντρου διανομής k

C_{KLklr} Επίπεδο εκπομπών αερίων ανά μεταφορά μιας μονάδας τελικού προϊόντος μεταξύ του κέντρου διανομής k και του κέντρου λιανικής l

C_{LClcr} Επίπεδο εκπομπών αερίων ανά μεταφορά μιας μονάδας τελικού προϊόντος r

μεταξύ του κέντρου λιανικής l και του πελάτη γ
 CCM_{cnp} Επίπεδο εκπομπών αερίων ανά μεταφορά μιας μονάδας πρώτης ύλης
 μεταξύ του πελάτη c και του κέντρου συλλογής m
 CMU_{mnp} Επίπεδο εκπομπών αερίων ανά μεταφορά μιας μονάδας τελικού προϊόντος
 μεταξύ του κέντρου συλλογής m και του κέντρου ανακύκλωσης u
 CMD_{mdp} Επίπεδο εκπομπών αερίων ανά μεταφορά μιας μονάδας τελικού προϊόντος
 μεταξύ του κέντρου συλλογής m και του κέντρου καταστροφής d
 CUJ_{ujp} Επίπεδο εκπομπών αερίων ανά μεταφορά μιας μονάδας τελικού προϊόντος
 μεταξύ του κέντρου ανακύκλωσης και του κέντρου παραγωγής
 h_{kp} Κόστος συντήρησης για μία μονάδα τελικού προϊόντος p στην αποθήκη του
 κέντρο διανομής k
 $h_{lp'}$ Κόστος συντήρησης για μία μονάδα αποθήκης καρφίτσας τελικού προϊόντος του
 λιανοπωλητή κέντρο l
 C_{jp} Κόστος παραγωγής για μία μονάδα τελικού προϊόντος p στο κέντρο παραγωγής j
 C_{kp} Κόστος διανομής μιας μονάδας τελικού προϊόντος p ανά κέντρο διανομής k
 C_{mp} Κόστος συλλογής για μία μονάδα ληφθέντος προϊόντος p από κέντρο συλλογής m
 pc_{pt} Πρόστιμο κόστος για μη ικανοποίηση της ζήτησης του τελικού καταναλωτή
 σχετικά με το προϊόν
 σε χρονική περίοδο t
 D_{cpt} Ζήτηση πελάτη c για το προϊόν p στη χρονική περίοδο t
 επάνω Χρόνος διαφθοράς του τελικού προϊόντος
 ca_{ip} Χωρητικότητα προμηθευτή πρώτης ύλης i για την πρώτη ύλη p
 ca_{jp} Χωρητικότητα κέντρου παραγωγής j για το τελικό προϊόν p
 ca_{kp} Χωρητικότητα κέντρου διανομής αποθήκη k για το τελικό προϊόν p
 ca_{lp} Χωρητικότητα αποθήκης κέντρου λιανοπωλητή l για το τελικό προϊόν
 στρατόπεδο Χωρητικότητα κέντρου συλλογής m των παραληφθέντων προϊόντων
 ca_{up} Χωρητικότητα κέντρου ανακύκλωσης u για τα ανακυκλώσιμα προϊόντα
 ca_{dp} Χωρητικότητα αποθήκης κέντρου λιανικού εμπορίου d για μη ανακυκλώσιμα
 προϊόντα
 pr_{ip} Η τιμή αγοράς της πρώτης ύλης από τον προμηθευτή της πρώτης ύλης
 υλικό i με το επίπεδο έκπτωσης β
 Ψ_{ipbt} Το κάτω όριο του διαστήματος έκπτωσης της πρώτης ύλης p στο
 προεξοφλημένο επίπεδο β από τον προμηθευτή της πρώτης ύλης στη χρονική περίοδο

kt Αριθμός διακομιστών στο κέντρο διανομέα k

CTk Το κόστος του χρόνου αναμονής για την εξυπηρέτηση στο κέντρο διανομής k

μk Ποσοστό εξυπηρέτησης κέντρου διανομής (εκθετική κατανομή) k

Bk Ανώτατο όριο μήκους ουράς για εξυπηρέτηση στο κέντρο διανομής k

θk Ανώτατο όριο πιθανότητας για υπερβολικό μήκος ουράς στη διανομή κέντρο k

τ Ποσοστό ανακυκλώσιμων προϊόντων στο κέντρο συλλογής

ω Ποσοστό επιστρεφόμενων προϊόντων από την πλευρά του πελάτη

Μεταβλητές απόφασης

Xijrt Ποσότητα αγορασμένης πρώτης ύλης p που μεταφέρεται μεταξύ της πρώτης ύλης προμηθευτής υλικού i και παραγωγός j κατά τη χρονική περίοδο t

Yjkrp Ποσότητα τελικού προϊόντος p που μεταφέρεται μεταξύ του παραγωγού j και κέντρο διανομής k κατά τη χρονική περίοδο t

Wklrt Ποσότητα τελικού προϊόντος p που μεταφέρεται μεταξύ του κέντρου διανομής k και κέντρα λιανικής l κατά τη χρονική περίοδο t

Vlcrp Ποσότητα τελικού προϊόντος p που μεταφέρεται μεταξύ των κέντρων λιανικής πώλησης

πελάτης γ κατά τη χρονική περίοδο t

Ucmrt Ποσό επιστρεφόμενου προϊόντος p που μεταφέρεται μεταξύ της συλλογής κέντρο m και πελάτης c κατά τη χρονική περίοδο t

Smurt Ποσότητα ανακυκλώσιμου προϊόντος p που μεταφέρεται μεταξύ της συλλογής κέντρο m και κέντρο ανακύκλωσης u κατά τη χρονική περίοδο t

Nmdrt Ποσότητα μη ανακυκλώσιμου προϊόντος p που μεταφέρεται μεταξύ της συλλογής

κέντρο m και κέντρο καταστροφής u κατά τη χρονική περίοδο t

Aujrt Ποσότητα ανακυκλωμένης πρώτης ύλης p που μεταφέρεται μεταξύ της ανακύκλωσης

κέντρο και κέντρο παραγωγής j τη χρονική περίοδο t

Tklrtr Ποσότητα τελικού προϊόντος p που μεταφέρεται μεταξύ του κέντρου διανομής k και κέντρα λιανικής l κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου και του χρόνου παραγωγής r

Blcprtε Ποσότητα τελικού προϊόντος p που μεταφέρεται μεταξύ των κέντρων λιανικής πώλησης

πελάτης κατά τη χρονική περίοδο t και παράγεται τη χρονική στιγμή r και λαμβάνεται τη χρονική στιγμή e

Qkprt Επίπεδο αποθέματος του τελικού προϊόντος p στο κατάστημα του κέντρου διανομέα k κάθε φορά

περίοδος t που παράγεται τη χρονική στιγμή r

Qlprtε' επίπεδο αποθέματος του τελικού προϊόντος p στο κατάστημα του κέντρου λιανικής πώλησης τη δεδομένη στιγμή περιόδου t που παρήχθη τη στιγμή e και λήφθηκε τη στιγμή e

crt Επίπεδο ανεκπλήρωτης ζήτησης του πελάτη c για το προϊόν p τη χρονική περίοδο t

ipt Συνολική αγορά πρώτης ύλης p από τον προμηθευτή τη χρονική περίοδο t

kt Ποσοστό εισόδου πελατών στο κέντρο διανομέα k τη χρονική περίοδο t

0kt Η πιθανότητα περιστατικού από την ίδρυση κέντρου διανομής k κατά τη χρονική περίοδο t

Wkt Χρόνος αναμονής πελατών στο κέντρο διανομής k τη χρονική περίοδο t

Zi Εάν είναι εγκατεστημένο το κέντρο προμήθειας πρώτων υλών i , 1, διαφορετικά 0.

Zj Εάν το κέντρο παραγωγής j είναι εγκατεστημένο, 1, διαφορετικά 0.

Zk Εάν έχει δημιουργηθεί το κέντρο διανομής k , 1, διαφορετικά 0.

Zl Εάν το κέντρο λιανικής l είναι εγκατεστημένο, 1, διαφορετικά 0.

Zm Εάν το κέντρο συλλογής m είναι εγκατεστημένο, 1, διαφορετικά 0.

Zu Εάν είναι εγκατεστημένο το κέντρο ανακύκλωσης u , 1, διαφορετικά 0.

Zd Εάν έχει δημιουργηθεί το κέντρο καταστροφής d , 1, διαφορετικά 0.

Mibpt Εάν το επίπεδο έκπτωσης β για αγορά πρώτης ύλης p από πρώτη ύλη

ο προμηθευτής i τη χρονική περίοδο t επιλέγεται, θα είναι 1, διαφορετικά 0.

3.2 Αριθμητικό Παράδειγμα

Σε αυτό το μέρος, αναπτύχθηκε ένα πρόβλημα με δείγμα μικρού μεγέθους με βάση τυχαία δεδομένα που περιγράφονται στον Πίνακα 1. Αυτή η προσέγγιση υιοθετήθηκε λόγω έλλειψης πραγματικών σημείων και δεδομένων.

Αρχικά, για την επίλυση του προβλήματος, υπολογίστηκαν οι καλύτερες και οι χειρότερες τιμές για τον κάθε παράγοντα (Πίνακας 2). Η αντικειμενική συνάρτηση υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο βελτιστοποίησης. Αυτές οι τιμές λογίζονται

ως κατάλληλες αρχικές υποθέσεις για την αριθμητική επίλυση των μεθόδων λήψης αποφάσεων και την εύρεση των τιμών που ελαχιστοποιούν τις δύο αντικειμενικές συναρτήσεις.

Προκειμένου να βρεθεί και να αξιολογηθεί η βέλτιστη λύση, το πρόβλημα επιλύθηκε αρχικά χρησιμοποιώντας μια μέθοδο ολοκληρωμένου κριτηρίου με δεδομένο βάρος 0,3 για την πρώτη αντικειμενική συνάρτηση και 0,7 για την δεύτερη συνάρτηση υπό τις συνθήκες αβεβαιότητας ως: 0.1.

| Παράμετρος | Εύρος | Παράμετρος | |
|-------------|-----------------------|---------------|----------|
| F_i | $\sim U(10000-12000)$ | CIJ_{ijp} | $\sim U$ |
| F_j | $\sim U(10000-12000)$ | CJK_{jkp} | $\sim U$ |
| F_k | $\sim U(10000-12000)$ | CKL_{klp} | $\sim U$ |
| F_l | $\sim U(10000-12000)$ | CLC_{lcp} | $\sim U$ |
| F_m | $\sim U(10000-12000)$ | CCM_{cmp} | $\sim U$ |
| F_u | $\sim U(10000-12000)$ | CMU_{mup} | $\sim U$ |
| F_d | $\sim U(10000-12000)$ | CMD_{mdp} | $\sim U$ |
| TIJ_{ijp} | $\sim U(10-20)$ | CUJ_{ujp} | $\sim U$ |
| TJK_{jkp} | $\sim U(10-20)$ | h_{kp} | $\sim U$ |
| TKL_{klp} | $\sim U(10-20)$ | h_{lp} | $\sim U$ |
| TLC_{lcp} | $\sim U(10-20)$ | C_{jp} | $\sim U$ |
| TCM_{cmp} | $\sim U(10-20)$ | C_{kp} | $\sim U$ |
| TMU_{mup} | $\sim U(10-20)$ | C_{mp} | $\sim U$ |
| TMD_{mdp} | $\sim U(10-20)$ | π_{cpt} | $\sim U$ |
| TUJ_{ujp} | $\sim U(10-20)$ | D_{cpt} | $\sim U$ |
| ca_{ip} | $\sim U(270-300)$ | u_p | $\sim U$ |
| ca_{jp} | $\sim U(270-300)$ | P_{ibp}^f | $\sim U$ |
| ca_{kp} | $\sim U(270-300)$ | Ψ_{ibpt} | $\sim U$ |

Πίνακας 1. Εύρος τιμών παραμέτρων προβλήματος με βάση την ομοιόμορφη κατανομή

3.3 Αριθμητικό Αποτέλεσμα

Η τιμή της βέλτιστης λύσης που βρέθηκε και υιοθετώντας τα προαναφερθέντα βάρη, αποδείχθηκε ότι ήταν: 314004,05 μονάδες για την πρώτη συνάρτηση και 92,68910 μονάδες για τη δεύτερη συνάρτηση.

Όλες οι εγκαταστάσεις για την επίλυση του προβλήματος της δεύτερης συνάρτησης λαμβάνουν τιμή 1. Αυτό οφείλεται στην έλλειψη εντοπισμού εγκαταστάσεων στη δεύτερη συνάρτηση και προκύπτει το πρόβλημα, ότι το πρότυπο ασχολείται απλώς με

την ελαχιστοποίηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανεξάρτητα από τη βέλτιστη τοποθεσία της εγκατάστασης (De Keizer et al. 2017).

| Συνάρτηση | Καλύτερη τιμή | Χειρότερη τιμή | Υπ |
|-----------|---------------|----------------|----|
| First | 285773.095 | 964554.14 | |
| Second | 56725.455 | 91092.64 | |

Πίνακας 2. Η καλύτερη και η χειρότερη τιμή και ο υπολογιστικός χρόνος που απαιτείται για την επίλυση μικρού μεγέθους δειγματοληπτικού προβλήματος.

3.4 Ανάλυση Ευαισθησίας

Σε αυτήν την ενότητα, επεξηγείται μια ανάλυση ευαισθησίας για δύο κύριες παραμέτρους του προβλήματος, δηλαδή τον χρόνο διατήρησης των προϊόντων και το εφαρμοσμένο διάστημα έκπτωσης. Για το σκοπό αυτό, το πρόβλημα δίνεται σε ορισμένο επίπεδο κατάστασης και αβεβαιότητας 0,3 με ίσα βάρη για αντικειμενικές συναρτήσεις και εξόδους που λαμβάνονται από το πρόβλημα.

Για τη διερεύνηση των αλλαγών των τιμών της συνάρτησης λόγω αλλαγών στο χρόνο διάσπασης, πραγματοποιήθηκαν πέντε διαφορετικά σενάρια υπό συγκεκριμένες και αβέβαιες συνθήκες. Αυτά τα πέντε σενάρια περιλαμβάνουν την εξέταση του χρόνου αποσύνθεσης από μία έως πέντε διαφορετικές περιόδους. Ο Πίνακας 3 συνοψίζει τα αποτελέσματα.

Στα σχήματα 1 και 2, απεικονίζονται οι αλλαγές που σχετίζονται με την αντικειμενική συνάρτηση No1 σε διάφορα σενάρια αλλαγής παραμέτρων χρόνου αποσύνθεσης. Λαμβάνοντας υπόψη το Σχ. 1 παρατηρείται ότι με τη μείωση του χρόνου διατήρησης, το συνολικό κόστος αυξάνεται και το συνολικό κόστος με πολύ χαμηλή κλίση αυξάνεται αυξάνοντας τον χρόνο διατήρησης λόγω της ικανότητας αποθήκευσης του.

Από το Σχ. 2, όταν υποθέσουμε ότι ορισμένες συνθήκες οφείλονται σε σταθερό κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης, το συνολικό κόστος του συστήματος παραμένει σχεδόν σταθερό αυξάνοντας τον χρόνο διατήρησης.

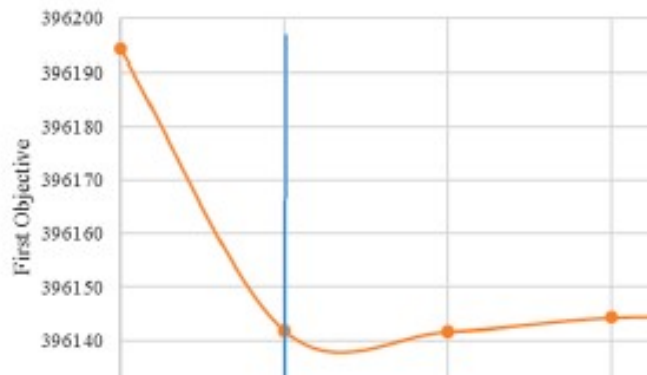
Το Σχ. 3 απεικονίζει αλλαγές στη δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση λόγω αλλαγών Στο χρόνο διατήρησης σε πέντε διαφορετικά σενάρια τόσο υπό συγκεκριμένες όσο και αβέβαιες συνθήκες.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3 και το Σχήμα 3, παρατηρείται ότι δεν γίνονται αλλαγές στη δεύτερη συνάρτηση του προβλήματος τόσο σε ορισμένες όσο και σε αβέβαιες συνθήκες με αυξανόμενο χρόνο διάσπασης.

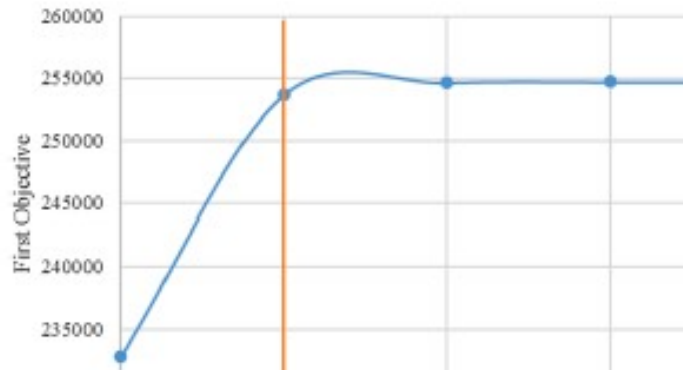
Πίνακας 3. Αλλαγές στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης λόγω αλλαγών στο χρόνο αποσύνθεσης.

| Scenario | μ_p | Deterministic | | Uncertainty | |
|----------|---------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| | | First objective value | Second objective value | First objective value | Second objective value |
| 1 | 1 | 232838.66 | 68035.87 | 396194.10 | 68035.87 |
| 2 | 2 | 253684.06 | 66009.86 | 396141.82 | 66009.86 |
| 3 | 3 | 254668.46 | 66009.86 | 396141.65 | 66009.86 |

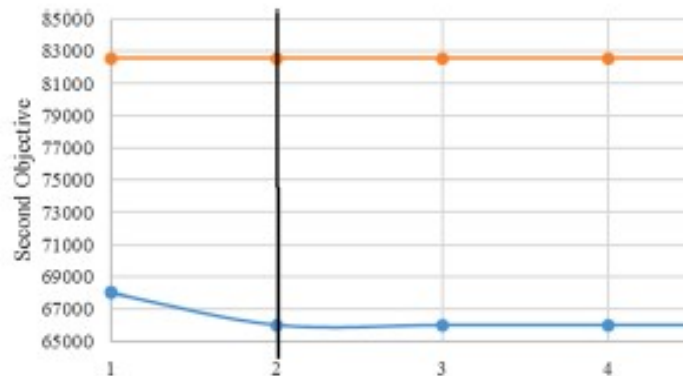
Πίνακας 3. Αλλαγές στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης λόγω αλλαγών στο χρόνο αποσύνθεσης.



Σχήμα 1. Αλλαγές στην πρώτη συνάρτηση λόγω αλλαγών στο χρόνο διάσπασης υπό συνθήκες αβεβαιότητας



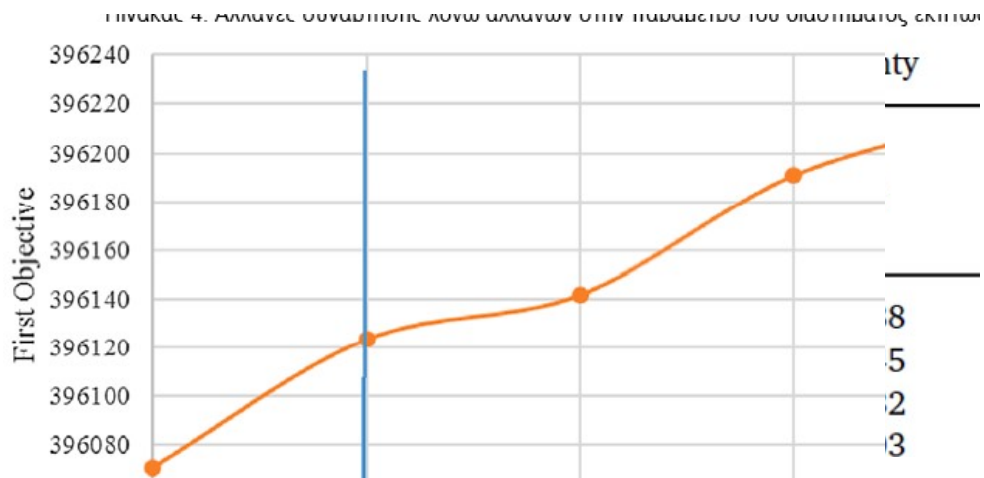
Σχήμα 2. Αλλαγές στην πρώτη συνάρτηση λόγω αλλαγών στο χρόνο αποσύνθεσης υπό ορισμένες συνθήκες



Σχήμα 3. Αλλαγές στη δεύτερη συνάρτηση λόγω αλλαγών στο χρόνο αποσύνθεσης σε ορισμένες και αβέβαιες συνθήκες

Προκειμένου να διερευνηθούν οι αλλαγές στις αντικειμενικές συναρτήσεις λόγω αλλαγών στο διάστημα έκπτωσης, εξετάζονται πέντε διαφορετικά σενάρια υπό βέβαιες και αβέβαιες συνθήκες. Αυτά τα πέντε σενάρια περιλαμβάνουν μείωση του διαστήματος έκπτωσης στο 10 και 30 τοις εκατό και αύξηση του επιπέδου έκπτωσης στο 10 και 30 τοις εκατό σε σύγκριση με τη βασική κατάσταση. Ο Πίνακας 4 δείχνει τις αλλαγές της αντικειμενικής συνάρτησης μέσω στην παράμετρο διαστήματος της έκπτωσης σε διαφορετικά σενάρια. Επίσης, οι τιμές του πρώτου και του δεύτερου στόχου στη συνάρτηση αντικειμενικού δεν αλλάζουν με ορισμένες αλλαγές στο διάστημα έκπτωσης, γεγονός που οφείλεται στο γεγονός ότι το ποσοστό αβεβαιότητας δεν θα επηρεάσει τη ζήτηση. Ωστόσο, υπό συνθήκες αβεβαιότητας, οι τιμές του πρώτου και του δεύτερου στόχου αυξάνονται υπό συνθήκες αβεβαιότητας όταν υπόκεινται σε αύξηση του επιπέδου έκπτωσης. Αυτό οφείλεται στην αύξηση του επιπέδου του μεσοδιαστήματος

έκπτωσης και στην αλλαγή της τιμής της αγοράς της πρώτης ύλης μέσα σε αυτό το διάστημα. Το Σχ. 4 απεικονίζει αλλαγές στον πρώτο στόχο λόγω αλλαγών στην παράμετρο του διαστήματος έκπτωσης υπό αβέβαιες συνθήκες.



Σχήμα 4. Αλλαγές στη συνάρτηση πρώτου στόχου λόγω αλλαγών στην παράμετρο του διαστήματος έκπτωσης σε αβέβαιες συνθήκες

Πραγματοποιήθηκε, επίσης, ανάλυση ευαισθησίας σε παραμέτρους όπως: χρόνος διατήρησης και το μεσοδιάστημα έκπτωσης και τα αποτελέσματα υποδηλώνουν σχετική και σταδιακή αύξηση στην πρώτη αντικειμενική συνάρτηση και σταθερότητα στη δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση ανά αύξηση σε αυτές τις παραμέτρους. Τέλος, οκτώ δειγματοληπτικά προβλήματα σε διαφορετικά μεγέθη χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο και την αξιολόγηση υποθέσεων. Όλα αυτά τα προβλήματα περιπτώσεων επιλύθηκαν σε επίπεδο αβεβαιότητας 0,1 χρησιμοποιώντας τρεις μεθόδους. Όσον αφορά τον υπολογιστικό δείκτη χρόνου, τα αποτελέσματα υποδηλώνουν υψηλή απόδοση του σταθμισμένου αθροίσματος σε σύγκριση με άλλες μεθόδους επίλυσης. Η στατιστική δοκιμή Tukey σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95 τοις εκατό υποδηλώνει επίσης ότι υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων υπολογιστικών χρόνων στις μεθόδους επίλυσης. Όσον αφορά τον δείκτη τιμής συνάρτησης πρώτου και δεύτερου στόχου, τα αποτελέσματα των στατιστικών δοκιμών έδειξαν σημαντική διαφορά μεταξύ των μεθόδων επίλυσης. Τα γενικά αποτελέσματα υποδηλώνουν υψηλή αποτελεσματικότητα της μεθόδου σταθμισμένου αθροίσματος στην απόκτηση μέσων όρων της πρώτης αντικειμενικής συνάρτησης και της μεθόδου Torabi-Hassini στην απόκτηση αποτελεσμάτων με βάση τη δεύτερη αντικειμενική συνάρτηση. Τέλος, η προσέγγιση

TOPSIS, χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή της πιο αποτελεσματικής μεθόδου λήψης αποφάσεων πολλαπλών στόχων λαμβάνοντας υπόψη τρεις δείκτες όπως: (1) υπολογιστικός χρόνος, (2) τιμή πρώτης αντικειμενικής συνάρτησης και (3) τιμή δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης. Η μέθοδος Torabi-Hassini με βάρος χρησιμότητας 0,58 καθίσταται η πιο αποτελεσματική μέθοδος επίλυσης. Σύμφωνα με τα αναφερθέντα ζητήματα, η λήψη αποφάσεων για τη θέση των πιθανών εγκαταστάσεων και η βέλτιστη κατανομή των ροών, που είναι οι πιο σημαντικές στρατηγικές και τακτικές αποφάσεις κάθε δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας, θα βοηθήσουν τον λήπτη αποφάσεων, αφού λάβει υπόψη τις συνθήκες της αβεβαιότητας, της ζήτησης καθώς και άλλων παραμέτρων το μοντέλο, στη λήψη των καταλληλότερων αποφάσεων.

Η ανάλυση ευαισθησίας και οι κατευθυντήριες γραμμές που παρέχονται για τη λήψη διαφορετικών μεθόδων λήψης αποφάσεων θα βοηθούσαν τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να αποκτήσουν μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα του κόστους και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από την εφαρμογή του δικτύου της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ειδικότερα, αυτό θα ήταν ζωτικής σημασίας για τις εφοδιαστικές αλυσίδες που ασχολούνται με την παραγωγή και τη διανομή ευπαθών αγαθών.

Σε αυτό το κεφάλαιο, μελετήθηκε η μοντελοποίηση και η επίλυση ενός προβλήματος δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου για τα ευπαθή αγαθά. Ως εκ τούτου, σε αυτό το έγγραφο, έχουν εξεταστεί δύο σημαντικές έννοιες στρατηγικών και τακτικών αποφάσεων, συμπεριλαμβανομένης της θέσης των πιθανών εγκαταστάσεων και της βέλτιστης κατανομής της ροής των αγαθών. Αυτές οι έννοιες, μαζί με τη χρήση μεθόδων λήψης αποφάσεων πολλαπλών στόχων, βοηθούν τους διαχειριστές να έχουν διαφορετικές επιλογές από το σχεδιασμό του δικτύου της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ένα σύνολο αποτελεσματικών απαντήσεων από διαφορετικές μεθόδους βοηθά τους διαχειριστές αυτού του κλάδου, σύμφωνα με τον διαθέσιμο προϋπολογισμό για τη δημιουργία δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς και με την εξέταση περιβαλλοντικών ζητημάτων που προκαλούνται από εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, τον καταλληλότερο τύπο δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας να επιλέξει με προσοχή και να εφαρμόσει όλες τις λεπτομέρειες. Λαμβάνοντας υπόψη την αβεβαιότητα σχετικά με τις ευαίσθητες παραμέτρους, το πρόβλημα βοηθά επίσης τους διαχειριστές να επιλέξουν τον καταλληλότερο τύπο σχεδιασμού της εφοδιαστικής αλυσίδας (Baird et al 2011, De Keizer et al 2017).

4 Συμπεράσματα

Η εφοδιαστικής αλυσίδα η οποία αναφέρεται τόσο σε αγαθά όσο και σε υπηρεσίες, μπορεί να είναι περίπλοκη και μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον κλάδο. Η απόδοση της αξιολογείται σε κάθε διαδικασία της αλυσίδας και δεν εστιάζει απλώς στα κέρδη και τις ζημιές αλλά μετράει και τον αντίκτυπο της εταιρίας όσο αφορά τη βιωσιμότητα της επιχείρησης. Η βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μία επιχειρηματική δραστηριότητα με τεράστια πολυπλοκότητα. Η εφαρμογή μοντέλων έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την αξιολόγηση και την βελτιστοποίηση της απόδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε ένα μοντέλο που είχε στόχο τη μείωση του νεκρού χρόνου αναμονής στα κέντρα διανομής. Η αντικειμενική συνάρτηση που εξετάζεται για το προτεινόμενο μοντέλο περιλαμβάνει δύο επιμέρους στόχους: 1. Ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας και 2. Ελαχιστοποίηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ορισμένες παράμετροι του μοντέλου όπως (ζήτηση, λειτουργικό κόστος, κόστος μεταφοράς αγαθών και επιτρεπόμενη χωρητικότητα του κέντρου διανομής αγαθών) θεωρήθηκαν ως αβέβαιες παράμετροι για τον έλεγχο αυτών των αβέβαιων παραμέτρων, χρησιμοποιήθηκε μέθοδος βελτιστοποίησης. Τέλος, για την επίλυση ενός μοντέλου δύο στόχων, χρησιμοποιήθηκαν τρεις μέθοδοι λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, δηλαδή η μέθοδος συνολικής στάθμισης και η μέθοδος Torabi-Hassini. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ του μέσου όρου της πρώτης, δεύτερης αντικειμενικής συνάρτησης και του υπολογιστικού χρόνου. Η μέθοδος TOPSIS χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή της πιο αποτελεσματικής μεθόδου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abdallah, T., Farhat, A., Diabat, A. & Kennedy, S. 2012. Green supply chains with carbon trading and environmental sourcing: Formulation and life cycle assessment. *Applied Mathematical Modelling*, 36, 4271-4285.

Amiri, A. 2006. Designing a distribution network in a supply chain system: Formulation and efficient solution procedure. *European journal of operational research*, 171, 567-576.

Baird, A. J., & Wilmsmeier, G. (2011). Factors facilitating intermodal transport of perishable goods: Transport purchaser's viewpoint. *Trasporti europei*, 49.

Behzadi, G., O'Sullivan, M.J., Olsen, T.L., & Zhang, A. (2018). Agribusiness supply chain risk management: A review of quantitative decision models. *Omega*, 79, 21-42

Ben-Tal, A., & Nemirovski, A. (1998). Robust convex optimization. *Mathematics of Operations Research*, 23(4), 769–805.

Bojarski, A. D., Laínez, J. M., Espuña, A. & Puigjaner, L. 2009. Incorporating environmental impacts and regulations in a holistic supply chains modeling: An LCA approach. *Computers & Chemical Engineering*, 33, 1747-1759.

Brandenburg, M., Govindan, K., Sarkis, J. & Seuring, S. 2014. Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions. *European journal of operational research*, 233, 299-312.

Cambero, C. & Sowlati, T. 2016. Incorporating social benefits in multi-objective optimization of forest-based bioenergy and biofuel supply chains. *Applied Energy*, 178, 721-735.

Chen, I. J. & Paulraj, A. 2004. Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements. *Journal of operations management*, 22, 119-150.

Costantino, N., Pellegrino, R., & Tauro, D. (2016). Commodity price volatility mitigation in supply chain risk management: Real options to assess the value of flexibility-driven strategies. *Industrial engineering and engineering management (IEEM)*, 2016 IEEE international conference on (pp. 129–133). IEEE.

Curkovic, S., Scannell, T., & Wagner, B. (2013). Using FMEA for Supply Chain Risk Management. *Modern Management Science and Engineering*, 1(2), 251-265

D'Amore, F., Mocellin, P., Vianello, C., Maschio, G., & Bezzo, F. (2018). Economic optimisation of European supply chains for CO₂ capture, transport and sequestration, including societal risk analysis and risk mitigation measures. *Applied Energy*, 223, 401-415.

De Keizer, M., Akkerman, R., Grunow, M., Bloemhof, J. M., Haijema, R., & van der Vorst, J. G. (2017). Logistics network design for perishable products with heterogeneous quality decay. *European Journal of Operational Research*, 262(2), 535–549.

Eisenhardt, K.M. (1989). Agency Theory: An Assessment and Review. *Academy of Management Review*, 14(1), 57-74.

Elhedhli, S. & Merrick, R. 2012. Green supply chain network design to reduce carbon emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17, 370-379.

Elodie Noirot, Christophe Der, Jeannine Lherminier, Franck Robert, Pavla Moricova, Kiên Kiêu, Nathalie Leborgne-Castel, Françoise Simon-Plas, Karim Bouhidel, (2014) Dynamic changes in the subcellular distribution of the tobacco ROS-producing enzyme RBOHD in response to the oomycete elicitor cryptogein, *Journal of Experimental Botany*, Vol 65, (17), 5011–5022

Eskandarpour, M., Dejax, P., Miemczyk, J. & Péton, O. 2015. Sustainable supply chain network design: An optimization-oriented review. *Omega*, 54, 11-32.

Floudas CA, Elia JA, Baliban RC. (2012) Hybrid and single feedstock energy processes for liquid transportation fuels: a critical review. *Comput Chem Eng*; 41:24–51.

Garcia-Herreros, P., Wassick, J. M. & Grossmann, I. E. 2014. Design of resilient supply chains with risk of facility disruptions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53, 17240-17251.

Hugo, A. & Pistikopoulos, E. N. 2005. Environmentally conscious long-range planning and design of supply chain networks. *Journal of Cleaner Production*, 13, 1471-1491.

Kamm B, Kamm M. (2007) Biorefineries-multi product processes. *Springer* ;105:175–204.

Kern, D., Moser, R., Hartmann, E., & Moder, M. (2012). Supply risk management: model development and empirical analysis. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 42(1), 60-82.

Kim J, Realff MJ, Lee JH. (2011) Optimal design and global sensitivity analysis of biomass supply chain networks for biofuels under uncertainty. *Comput Chem Eng*;35(9):1738–51.

Kocaoğlu, Y. N., Gümüş, A. T. & Kocaoğlu, . 2018. Supply chain optimization studies: A literature review and classification. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 19, 79-98.

Lane, J. Peter, Lubatkin, Michael, Relative absorptive capacity and interorganizational learning,, *Strategic management Journal* (1998)

Linares, P. & Romero, C. 2000. A multiple criteria decision making approach for electricity planning in Spain: economic versus environmental objectives. *Journal of the Operational Research Society*, 51, 736-743.

Liu, S. & Papageorgiou, L. G. 2013. Multiobjective optimisation of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry. *Omega*, 41, 369-382.

Lira- arrag N, L. F., Ponce-Ortega, J. M. A., Serna-González, M. & El-Halwagi, M. M. 2011. An MINLP model for the optimal location of a new industrial plant with simultaneous consideration of economic and environmental criteria. *Industrial & engineering chemistry research*, 50, 953-964.

Longo M. C., Giaccone S. C. (2016), *Struggling with agency problems in open innovation ecosystem: corporate policies in innovation hub*, Emerald Publishing Limited, the XXVII ISPIM Conference on “Blending tomorrow’s innovation vintage”, Porto, Portugal, June 19-22, 2016

Luo, Y., Zhou, M. & Caudill, R. J. 2001. An integrated e-supply chain model for agile and environmentally conscious manufacturing. *IEEE/ASME Transactions On Mechatronics*, 6, 377-386.

Ma L, Wang T, Liu Q, Zhang X, Ma W, Zhang Q. (2012) A review of thermal–chemical conversion of lignocellulosic biomass in China. *Biotechnol Adv*; 30(4):859–73

Mastrocinque, E., Yuce, B., Lambiase, A. & Packianather, M. S. 2013. A multiobjective optimization for supply chain network using the bees algorithm. *International Journal of Engineering Business Management*, 5, 38.

Miles, M.B., & Huberman, A.M. (1994). *Qualitative Data Analysis* (2nd edition). Thousand Oaks, Sage Publications, CA.

Min, H., Ko, C. S. & Ko, H. J. 2006. The spatial and temporal consolidation of returned products in a closed-loop supply chain network. *Computers & Industrial Engineering*, 51, 309-320.

Mota, B., Gomes, M. I., Carvalho, A. & Barbosa-Povoa, A. P. 2015. Towards supply chain sustainability: economic, environmental and social design and planning. *Journal of Cleaner Production*, 105, 14-27.

Nozick, L. K. & Turnquist, M. A. 2001. Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers. *European Journal of Operational Research*, 129, 362-371.

Ou X, Zhang X, Chang S, Guo Q. (2009) Energy consumption and GHG emissions of six biofuel pathways by LCA in (the) People's Republic of China. *Appl Energy* ;86(1):S197–208.

Pfeffer, J., & Salancik, G.R. (1978). *The External Control of Organizations: A Resource Dependence Perspective*. New York: Harper & Row.

Qiu H, Huang J, Yang J, Rozelle S, Zhang Y, Zhang Y, (2010). Bioethanol development in China and the potential impacts on its agricultural economy. *Appl Energy*; 87(1):76–83.

Raimo Hyötyläinen, Katri Valkokari, Petri Kalliokoski. (2011). *Renewal Through Co-Creation in Business Networks*. *Technology Innovation Management review*.

Rodrigue, J. P. (2017). *The geography of transport systems*, 4 edn. New York: Routledge.

Rohmer, S. U. K., Gerdessen, J. C., & Claassen, G. D. H. (2019). Sustainable supply chain design in the food system with dietary considerations: A multi-objective analysis. *European Journal of Operational Research*, 273(3), 1149–1164.

Sabri, E. H. & Beamon, B. M. 2000. A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. *Omega*, 28, 581-598.

Schrauf S., P. B. (2016). Industry 4.0: How digitization makes the supply chain more efficient, agile, and customer-focused.

Tang, O., & Musa, S.N. (2011). Identifying risk issues and research advancements in supply chain risk management. *International journal of production economics*, 133(1), 25-34

Timpe, C. H. & Kallrath, J. 2000. Optimal planning in large multi-site production networks. *European Journal of Operational Research*, 126, 422-435.

Trisna, T., Marimin, M., Arkeman, Y. & Sunarti, T. 2016. Multi-objective optimization for supply chain management problem: A literature review. *Decision Science Letters*, 5, 283-316.

Tsao, Y.-C. & Lu, J.-C. 2012. A supply chain network design considering transportation cost discounts. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48, 401-414.

Varzandeh, J., Farahbod, K., & Zhu, J. (2014). An Empirical Investigation of Supply Chain Sustainability and Risk Management. *Journal of Business & Behavioral Sciences*, 26(2), 119-126.

Wang, F., Lai, X. & Shi, N. 2011. A multi-objective optimization for green supply chain network design. *Decision Support Systems*, 51, 262-269.

Yan J, Lin T. (2009) Biofuels in Asia. *Appl Energy*;86:S1–S10.

You, F. & Grossmann, I. E. 2008. Mixed-integer nonlinear programming models and algorithms for large-scale supply chain design with stochastic inventory management. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47, 7802-7817.

You, F., Tao, L., Graziano, D. J. & Snyder, S. W. 2012. Optimal design of sustainable cellulosic biofuel supply chains: multiobjective optimization coupled with life cycle assessment and input–output analysis. *AIChE Journal*, 58, 1157-11