



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Χημικών Μηχανικών
Τομέας II: Ανάλυσης Σχεδιασμού και
Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων

Υπολογισμός Υδατικού Αποτυπώματος της Εφοδιαστικής Αλυσίδας μιας Βιομηχανίας Πετρελαίου

Διπλωματική Εργασία

Ηλιάννα Ψαραδάκη

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια :
Ελένη Γρηγοροπούλου



Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	4
Abstract	5
1. Εισαγωγή	7
1.1 Λειψυδρία και το νερό σε οικονομικούς τομείς	7
1.1.1 Νερό στο γεωργικό τομέα	8
1.1.2 Νερό στο βιομηχανικό τομέα	9
1.2 Ελλάδα και Υδατικοί Πόροι	10
1.3 Βιομηχανική Δραστηριότητα στην Ελλάδα και τον κόσμο	11
2. Η έννοια του Υδατικού Αποτυπώματος	13
2.1 Ορισμός	13
2.1.1 Η μπλε συνιστώσα	13
2.1.2 Η πράσινη συνιστώσα	13
2.1.3 Η γκρι συνιστώσα	14
2.2 Εικονικό νερό (Virtual Water)	15
2.3 Υδατικό αποτύπωμα για τον έλεγχο της προόδου σε θέματα βιώσιμης ανάπτυξης	15
2.4 Υδατικό Αποτύπωμα παγκόσμιο και της χώρας μας	17
3. Μεθοδολογία για τον υπολογισμό του ΥΑ μίας Βιομηχανίας	18
3.1 Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος μίας Επιχείρησης	18
3.1.1 Λειτουργικό Υδατικό Αποτύπωμα	19
3.1.2 Γκρι συνιστώσα για υγρά απόβλητα	19
3.1.3 Υδατικό Αποτύπωμα της Εφοδιαστικής Αλυσίδας	20
3.2 Εκτίμηση Υδατικού Αποτυπώματος και παραγόντων επιρροής του	22
3.3 Τρόποι μείωσης του ΥΑ μίας Επιχείρησης	24
4. Παρουσία και κατανάλωση νερού από την εξόρυξη μέχρι την παράδοση στα διυλιστήρια	25
4.1 Επιδόσεις Παγκοσμίως για τη παραγωγή Αργού Πετρελαίου	25
4.1.1 Εκτίμηση ύψους παραγωγής σε ένα κοίτασμα πετρελαίου	26
4.2 Ο δρόμος του αργού	27
4.3 Το νερό στην παραγωγή του αργού πετρελαίου	27
4.4 Παράγωγο νερό και η επεξεργασία του	28
4.5 Μέθοδοι εξόρυξης αργού και Υδατικό Αποτύπωμα	29
4.6 Σύγκριση Υδατικού Αποτυπώματος διάφορων φορέων ενεργειών	31

5. Οι Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Ασπροπύργου των ΕΛΠΕ.....	32
5.1 Οι Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Ασπροπύργου.....	32
5.2 Ετήσιες Προμήθειες στις ΒΕΑ.....	32
5.3 Τα έτη μελέτης για τις ΒΕΑ.....	34
6. Υπολογισμοί και Αποτελέσματα	35
6.1 Διακριτός υπολογισμός Υδατικών Αποτυπωμάτων	35
6.1.1 Υπολογισμοί για τα αργά <i>Siberian Light</i> και <i>Ural</i> - εταιρεία <i>ROSNEFT</i>	36
6.1.2 Υπολογισμοί για τα αργά <i>Tengiz</i> , <i>CPC Blend</i> και <i>Kumkol</i> - εταιρεία <i>KazMunayGaz</i>	39
6.1.3 Υπολογισμοί για τα αργά <i>Qarun</i> , <i>Ras Gharib</i> και <i>Western Desert</i> - εταιρεία <i>Apache</i>	41
6.1.4 Υπολογισμοί για το αργό <i>Sahara Blend</i> - εταιρεία <i>CEPSA</i>	43
6.1.5 Υπολογισμοί για τα αργά <i>Al Jurf</i> , <i>Sarir</i> και <i>Bouri</i> - εταιρεία <i>Wintershall</i>	45
6.1.6 Αξιολόγηση Διακριτών Υπολογισμών.....	47
6.2 Υπολογισμός μέσω πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.....	48
6.2.1 Παράγοντες πρόβλεψης.....	48
6.2.2 Ανάπτυξη του μοντέλου παλινδρόμησης.....	49
6.3 Τελικός Υπολογισμός Υδατικού Αποτυπώματος της Εφοδιαστικής Αλυσίδας	52
6.4 Σύγκριση Υδατικών Αποτυπωμάτων Εφοδιαστικής Αλυσίδας.....	55
6.5 Συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των ΒΕΑ για τα έτη 2014 και 2015.....	57
7. Συμπεράσματα.....	58
7.1 Συμπεράσματα για το ΥΑ εφοδιαστικής αλυσίδας των ΒΕΑ.....	58
7.2 Συμπεράσματα για το ΥΑ επιχειρήσεων παραγωγής αργού πετρελαίου.....	58
8. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	61
9. Βιβλιογραφία	63
Ευρετήριο όρων-συμβόλων	66
Ευρετήριο Πινάκων	67
Παραρτήματα.....	68

Περίληψη

Το νερό και η ενέργεια είναι πόροι αλληλένδετοι και τα αποθέματα τους απαραίτητα για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Η παρούσα εργασία προσπαθεί να ανακαλύψει και να ποσοτικοποιήσει τη σύνδεση αυτή μέσω της χρήσης του δείκτη του Υδατικού Αποτυπώματος που εισήγαγε ο Hoekstra το 2002 με εφαρμογή στις Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Ασπροπύργου των ΕΛΠΕ. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του υπολογισμού του Υδατικού Αποτυπώματος της εφοδιαστικής τους αλυσίδας.

Το Υδατικό Αποτύπωμα είναι ένας δείκτης πολύπλευρος και με πολλές εφαρμογές. Αποτελείται από δύο συνιστώσες, την μπλε και την πράσινη, που αφορούν στην κατανάλωση του νερού σε μία παραγωγική διαδικασία, και την γκρι που αφορά στο κομμάτι της υδατικής ρύπανσης. Σε μία βιομηχανία ο δείκτης έχει δύο διαστάσεις. Το Λειτουργικό Υδατικό Αποτύπωμα που αφορά στις καταναλώσεις και ρυπάνσεις που αναφέρονται στις δραστηριότητες της ίδιας της βιομηχανίας και αυτό της Εφοδιαστικής τους Αλυσίδας που αναφέρεται σε όλη τη παραγωγική διαδικασία που προηγείται.

Διερευνάται η αλυσίδα παραγωγής και μεταφοράς του αργού πετρελαίου, καθώς αναζητούνται οι σημαντικές καταναλώσεις νερού και οι δραστηριότητες από τις οποίες αυτές απορρέουν. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στο λειτουργικό κομμάτι υδατικής κατανάλωσης και ρύπανσης. Αυτό επιβαρύνεται από την παραγωγή νερού κατά την εξόρυξη και από τις διαφορετικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της παραγωγής, καθώς αυτές αφορούν στη συνεχή δραστηριότητα των επιχειρήσεων παραγωγής αργού στα εκάστοτε κοιτάσματα.

Οι υπολογισμοί βασίστηκαν στη μεθοδολογία που διατυπώθηκε από τους Hoekstra, Charagain Aldaya και Mekonnen για τη διαμόρφωση του ΥΑ μίας επιχείρησης και για τις χώρες που και αυτό δεν ήταν δυνατό, όπως η Σαουδική Αραβία, το Ιράκ κ.α., αναπτύχθηκε ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης με παράγοντες πρόβλεψης το κατά κεφαλήν ΑΕΠ της κάθε χώρας (a), το δείκτη SDG 6.4.2 -Water Stress (b), τον ημερήσιο ρυθμό παραγωγής αργού πετρελαίου (c) και το σύνολο των εσωτερικών υδατικών αποθεμάτων της χώρας ανά κάτοικο(d). Η εξίσωση του μοντέλου παλινδρόμησης διαμορφώθηκε ως :

$$\ln(YA) = [(-2,046 \cdot 10^{-7})a + (-0,001)b + 0,001c + (-0,161) \cdot \ln(d) + 4,814] \cdot J^{10-2} \quad (\text{Μονάδες: } m^3/bbl \text{ αργού})$$

με τη μεγαλύτερη απόκλιση (13,2%) να εμφανίζεται για το ΥΑ της Αλγερίας το 2014.

Το ΥΑ της Εφοδιαστικής Αλυσίδας των ΕΛΠΕ δεν αναλύθηκε σε συνιστώσες, ενώ μετρήθηκε στα 10,956 Mm³ για το έτος 2014, στα 10,482Mm³ για το έτος 2015 και παρουσίασε τη μεγαλύτερη τιμή το έτος 2016 στα 13,646mm³. Από βιβλιογραφική πηγή χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις του λειτουργικού ΥΑ της βιομηχανίας για τα έτη 2014 και 2015 και το συνολικό ΥΑ υπολογίστηκε στα 14,136mm³ και 14,350mm³. Από τα αποτελέσματα αυτά αποδείχθηκε η σημασία της εφοδιαστικής αλυσίδας στη συνολική αποτύπωση του δείκτη και της επιλογής προμηθευτών με χαμηλές τιμές ΥΑ ειδικά για μεγάλες ποσότητες προμήθειας των αργών τους.

Ακόμα, παρατηρήθηκε συσχέτιση οικονομικών δεικτών και αποθεμάτων νερού με το ΥΑ με το δείκτη να μειώνεται σε χώρες με υψηλό κατά κεφαλήν ΑΕΠ ή/και με έλλειψη υδατικών αποθεμάτων, ενώ δεν παρουσίασε συσχέτιση με το ύψος της παραγωγής της εκάστοτε χώρας.

Τέλος, παρουσιάστηκαν προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο θέμα αυτό, όπως ο εκ νέου υπολογισμός του ΥΑ όπου θα επιτρέπεται η ανάλυση του σε συνιστώσες. Μια τέτοια προσέγγιση, για παράδειγμα, θα απαιτούσε δεδομένα εθνικών βιομηχανικών υδατικών απολήψεων και αποθέσεων υγρών αποβλήτων ή και δεδομένα έκτασης βαθμού επεξεργασίας τους.

Abstract

Water and energy are interdependent resources and their reserves necessary for sustainable development. This paper attempts to discover and quantify this connection through the use of the index of Water Footprint which was introduced by Hoekstra in 2002 by its application to the Aspropyrgos Industrial Installations of HELPE. This is achieved through the calculation of Water Footprint of their supply chain.

The Water Footprint is a versatile indicator with many applications. It consists of two components that concern water consumption in a production process the blue WF and the green WF. The gray WF concern the part of water pollution that takes place. In an industry, the index has two dimensions. The Operational Water Footprint, relating to consumption and pollution of the activities of the industry itself and that of its Supply Chain, which refers to the entire production process that precedes it.

The crude oil supply chain is then explored searching for significant water consumption with the intent to define the activities that it's attributed to. The interest focused is on the operational side of the water consumption and pollution. This is aggravated by the production of water during the extraction and by the different methods used to enhance the crude oil production, as they relate to the ongoing business activity in the fields.

The calculations of the Water Footprint were based on the methodology by Hoekstra, Chapagain Aldaya and Mekonnen for the formation of the WF of a business. For countries where this was not possible, such as Saudi Arabia, Iraq, etc., a linear regression model was developed, with the use of the GDP per capita (a), the indicator SDG 6.4.2 Water Stress (b), the daily crude oil production rate (c) and the total internal freshwater reserves per inhabitant (d) as predictors. The equation of the regression model was formulated as:

$$\ln(YA) = [(-2,046 \cdot 10^{-7})a + (-0,001)b + 0,001c + (-0,161) \cdot \ln(d) + 4,814]^{10^{-2}} \quad (\text{Units: } m^3/\text{bbl of crude oil})$$

with the largest deviation (13.2%) observed for the WF of Algeria for the year 2014.

The Supply Chain's WF was not analyzed in its components and it was measured at 10.956Mm³ for the year 2014, at 10.482Mm³ for the year 2015 with the highest value appearing for 2016 at 13.646 Mm³. From bibliographic source, measurements of the operational MA of the industry were used for the years 2014 and 2015 and the total WF was calculated at 14.136Mm³ and 14.350Mm³. From these results, the importance of the supply chain in the total index and that of the selection of suppliers with low WF values, especially for large quantities of supplied crude oil, was demonstrated.

There was also a direct correlation between economic indicators, water resources and the Water Footprint, with the index being low for countries with a high GDP per capita and/or a lack of water reserves and it demonstrated no correlation with the country's crude oil production.

Finally, proposals for further research on this issue were presented, such as a recalculation of the WF, where component analysis would be allowed. Such an approach would, for example, require data from national industrial water withdrawals and wastewater discharges and / or data on the extent of their processing.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε εκείνους που με βοήθησαν στη συλλογή στοιχείων, τη μελέτη και την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Γρηγοροπούλου για την ανάθεση του θέματος που για μένα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον και για τη ουσιαστική συμπαράσταση και καθοδήγησή της σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης. Ευχαριστώ, επίσης, τα Ελληνικά Πετρέλαια για τη βοήθεια που μου παρείχαν στη συλλογή στοιχείων, το χρόνο που μου διέθεσαν και τη συνεργασία μας. Ιδιαίτερα ευχαριστώ την κα. Ταντόγλου για το ενδιαφέρον που έδειξε και τη βοήθεια, από την αρχή που μου ανατέθηκε το θέμα για τη διαμόρφωση της εργασίας αυτής. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όλους εκείνους που συνέβαλαν παρέχοντας υποστήριξη και δείχνοντας την κατανόηση τους.

1. Εισαγωγή

Το νερό θεωρείται ένα φυσικός πόρος που βρίσκεται σε αφθονία στον πλανήτη, μιας που το 70% της Γης καλύπτεται από θάλασσες και ωκεανούς. Αυτό, όμως, που δεν αναλογίζεται κανείς με αυτήν την πρόταση είναι το ότι μόνο το 1% του νερού αυτού είναι διαθέσιμο και μπορεί να εκμεταλλευτεί από τον άνθρωπο και για όλες τις δραστηριότητες του.

Η πρόσβαση στο νερό είναι μία βιοτική ανάγκη, δικαίωμα και πολλές φορές κινητήριο δύναμη. Ο άνθρωπος ξεκίνησε να εγκαθίσταται, να αναπτύσσει οικισμούς, οικονομικές δραστηριότητες και πολιτισμό σε μέρη όπου η πρόσβαση σε νερό ήταν εύκολη και διασφαλισμένη. Εξαιτίας, λοιπόν, αυτής της ζωτικής του φύσης και λόγω της άνισης κατανομής του στο πλανήτη η διαχείριση του αποτελεί θέμα με ισχυρές πολιτικές και οικονομικές προεκτάσεις.

Το νερό και η ενέργεια, ένα επίσης απαραίτητο απόθεμα για τη βιώσιμη ανάπτυξη, είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένα μεταξύ τους [1]. Απαιτείται ενέργεια για τη διασφάλιση, την παράδοση, την επεξεργασία και τη διανομή του νερού [2], ενώ, από την άλλη, το νερό χρησιμοποιείται, καταναλώνεται και συχνά υποβαθμίζεται για την παραγωγή, επεξεργασία και παροχή ενέργειας [3].

Η παγκόσμια ζήτηση για νερό και ενέργεια αναμένεται να αυξηθεί 40% και 50% αντίστοιχα μέχρι το 2030 [4]. Ακόμα, είναι πιθανό η παραγωγή της ενέργειας να συνεισφέρει σημαντικά στην αύξηση των επιπέδων έλλειψης νερού (water stress) στο μέλλον, μιας που μέχρι το 2035 οι παγκόσμιες αντλήσεις νερού κατά την παραγωγή της ενέργειας αναμένεται να αυξηθούν κατά 85% σε σχέση με αυτές του 2010. Το γεγονός αυτό είναι λογικό, αν αναλογιστεί κανείς ότι πολλές από τις πετρελαιοπαραγωγικές χώρες δεν έχουν μεγάλα αποθέματα νερού, ενώ τα κοιτάσματα, καθώς περνά ο καιρός, 'ωριμάζουν' και απαιτούν μεγαλύτερες καταναλώσεις νερού για την ανάκτηση του αργού.

Για τους παραπάνω λόγους είναι απαραίτητη η δημιουργία νέων μεθόδων εκτίμησης και βιώσιμης διαχείρισης των πόρων αυτών ισότιμα, πόσο μάλλον του νερού που μέχρι πρόσφατα εσφαλμένα θεωρούταν σε αφθονία. Μία από τις μεθόδους αυτές είναι και ο υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος. Μίας μεθόδου που αποτιμά όχι μόνο την κατανάλωση νερού, αλλά και την επίδραση μιας δραστηριότητας στα διαθέσιμα υδατικά αποθέματα.

Στη παρούσα εργασία ερευνάται η απαίτηση νερού για την προμήθεια αργού πετρελαίου στις Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Ασπροπύργου των ΕΛΠΕ και αποτυπώνεται μέσω του υπολογισμού του Υδατικού Αποτυπώματος της εφοδιαστικής τους αλυσίδας.

1.1 Λειψυδρία και το νερό σε οικονομικούς τομείς

Ο όρος λειψυδρία (water scarcity) μπορεί να αναφέρεται στην μη υδατική διαθεσιμότητα είτε λόγω φυσικής έλλειψης είτε λόγω δυσκολίας στην πρόσβαση, η οποία αποδίδεται στην αποτυχία των θεσμών να εξασφαλίσουν τακτική προμήθεια ή στην έλλειψη επαρκούς υποδομής.

Η λειψυδρία ήδη επηρεάζει κάθε ήπειρο. Η χρήση νερού παγκοσμίως αυξάνεται με διπλάσιο ρυθμό από ότι ο πληθυσμός τον περασμένο αιώνα και όλο και περισσότερες περιοχές, ειδικά ξηρές, έχουν φθάσει στο όριο με το οποίο οι υπηρεσίες ύδρευσης μπορούν να παραχθούν βιώσιμα.

Το φαινόμενο αυτό θα επιδεινωθεί καθώς οι ταχέως αναπτυσσόμενες αστικές περιοχές ασκούν μεγάλη πίεση στους γειτονικούς υδάτινους πόρους. Οι κλιματικές αλλαγές και οι απαιτήσεις ενέργειας αναμένεται, επίσης, να ενισχύσουν την ήδη πολύπλοκη σχέση μεταξύ της παγκόσμιας ανάπτυξης και της ζήτησης νερού.

Λίγες χώρες διαθέτουν τους φυσικούς και οικονομικούς πόρους για να συνεχίσουν να αυξάνουν την παροχή νερού. Η εναλλακτική λύση είναι να γίνει καλύτερη χρήση των διαθέσιμων πόρων. Ο στόχος SDG 6.4 (UN Sustainable Development Goal) των Ηνωμένων εθνών [5] αντιμετωπίζει το πρόβλημα της λειψυδρίας και τη σημασία της αύξησης της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, εάν το φυσικό περιβάλλον εξακολουθήσει να υποβαθμίζεται και συνεχιστούν οι μη βιώσιμες πιέσεις που ασκούνται στους παγκόσμιους υδάτινους πόρους, το 45% του παγκόσμιου ΑΕΠ, το 52% του παγκόσμιου πληθυσμού και το 40% της παγκόσμιας παραγωγής σιτηρών θα τεθούν σε κίνδυνο έως το 2050. Οι φτωχοί και περιθωριοποιημένοι πληθυσμοί θα επηρεαστούν δυσανάλογα επιδεινώνοντας περαιτέρω τις αυξανόμενες ανισότητες.

Η γεωργία (συμπεριλαμβανομένης της άρδευσης, της κτηνοτροφίας και της υδατοκαλλιέργειας) είναι μακράν ο μεγαλύτερος καταναλωτής νερού αντιπροσωπεύοντας το 69% των ετήσιων απολήψεων νερού σε παγκόσμιο επίπεδο. Η βιομηχανία (συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) αντιπροσωπεύει το 19% και τα νοικοκυριά για 12%.

Πιο συγκεκριμένα, στη συνέχεια ακολουθεί μία ανάλυση για την πορεία της χρήσης νερού παγκοσμίως στον τομέα της γεωργίας και της βιομηχανίας, όπως αυτή παρουσιάστηκε από τα Ηνωμένα Έθνη για τα έτη 2006 [6] και 2018 [5].

1.1.1 Νερό στο γεωργικό τομέα

Η ζήτηση για φαγητό δεν είναι διαπραγματεύσιμη. Ενώ ο παγκόσμιος ρυθμός της δημογραφικής ανάπτυξης μειώνεται, εξακολουθεί να είναι μεγάλος ο αριθμός των ανθρώπων που προστίθενται κάθε χρόνο στον παγκόσμιο πληθυσμό (περίπου 75 εκατομμύρια). Καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται, οι διαθέσιμοι πόροι ανά κάτοικο συρρικνώνονται και η αύξηση της παραγωγικότητας είναι απαραίτητη για την αντιστάθμιση. Για την ικανοποίηση της εκτιμώμενης αύξησης στην ζήτηση για τρόφιμα μεταξύ του 2000 και το 2030 η παραγωγή καλλιεργήσιμων τροφίμων αναμένεται να αυξηθεί κατά 67% στις υπό ανάπτυξη χώρες [6]. Παράλληλα, η συνεχιζόμενη αύξηση της παραγωγικότητας θα επιτρέψει να διατηρηθεί η προβλεπόμενη αύξηση της χρήσης νερού στη γεωργία σε περίπου 14%.

Χρειάζονται κατά μέσο όρο περίπου 3.000 λίτρα νερό ανά άτομο για την παραγωγή της ημερήσιας πρόσληψης τροφής. Ο μεγαλύτερος όγκος νερού που χρησιμοποιείται από τις καλλιέργειες προέρχεται από τη βροχή. Η άρδευση παρέχει μόνο περίπου το 10% του νερού για γεωργική χρήση, αλλά έχει σημαντικό στρατηγικό ρόλο: ενισχύει υδατικά όταν η υγρασία του εδάφους είναι ανεπαρκής για την ικανοποίηση των αναγκών των καλλιεργειών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιοχές ευάλωτες είτε λόγω κλιματικής μεταβλητότητας είτε όπου η πολλαπλή καλλιέργεια απαιτεί την παροχή νερού σε περιόδους ξηρασίας. Αν και αντιπροσωπεύει μόνο ένα μέρος του νερού που χρησιμοποιείται στη γεωργία, η άρδευση ευθύνεται για τις μεγαλύτερες καταναλώσεις αποθεμάτων γλυκού νερού στη Γη.

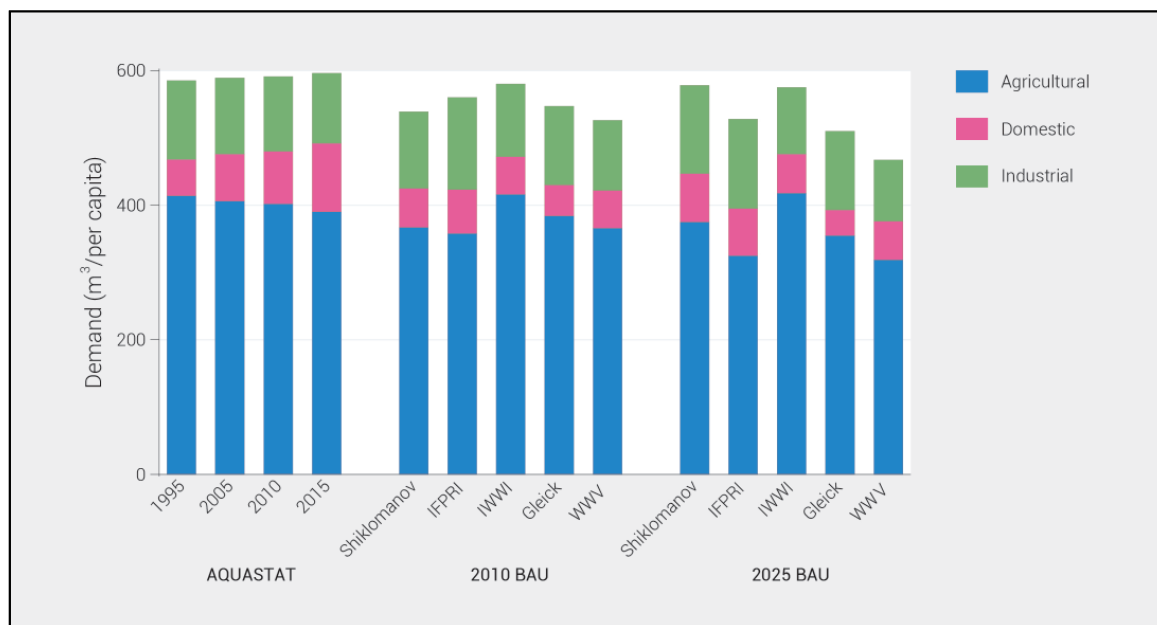
Η γεωργία υπόκειται τώρα σε όλο και μεγαλύτερο έλεγχο, καθώς οι υδάτινοι πόροι συρρικνώνονται και ο ανταγωνισμός μεταξύ των διαφορετικών τομέων οικονομικών δραστηριοτήτων εντείνεται. Η επιδίωξη ενός μόνο αναπτυξιακού στόχου, αυτού της αυξημένης γεωργικής παραγωγικότητας, έχει οδηγήσει στη διάλυση

πολλών ανθεκτικών στις μεταβολές οικοσυστημάτων. Η γεωργία έχει πιεστεί να μειώσει το επίπεδο των αρνητικών επιπτώσεών της, ιδίως εκείνων που συνδέονται με τη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, καθώς και με τη σπατάλη στη χρήση του νερού. Τέλος, η ποσότητα νερού που διατίθεται στη γεωργία περιορίζεται προοδευτικά από τα υποβαθμισμένα υδατικά συστήματα, τον ανταγωνισμό άλλων οικονομικών τομέων και από την ανάγκη διατήρησης της ακεραιότητας των υδάτινων οικοσυστημάτων.

1.1.2 Νερό στο βιομηχανικό τομέα

Οι βιομηχανίες δεν είναι καταναλωτές νερού, όπως ο γεωργικός τομέας [5]. Τείνουν να χρησιμοποιούν και στη συνέχεια να απορρίπτουν το νερό, το οποίο είναι συχνά φτωχότερης ποιότητας. Δεν απαιτούνται πάντοτε μεγάλες ποσότητες νερού ούτε κατ'ανάγκην η ποιότητα τους να είναι σαν αυτή του πόσιμου νερού. Η πρόκληση βρίσκεται στην εξισορρόπηση των βιομηχανικών αναγκών σε νερό τόσο από ποσοτική όσο και από ποιοτική άποψη με εκείνες για τον άνθρωπο, τη γεωργία, την ενέργεια και το περιβάλλον, ώστε όλοι να μπορούν να αντλήσουν κέρδη από τη χρήση του.

Σύμφωνα με δεδομένα από την AQUASTAT τη βάση δεδομένων των Ηνωμένων εθνών για θέματα νερού, η βιομηχανία αντιπροσωπεύει έως και το 19% των συνολικών αποσύρσεων νερού παγκοσμίως, με σημαντικές διαφορές μεταξύ των χωρών και μεταξύ των βιομηχανικών, γεωργικών και δημοτικών τομέων. Η μελλοντική οικονομική ανάπτυξη και το αυξανόμενο ΑΕΠ θα αυξήσουν τη χρήση των βιομηχανικών υδάτων [7]. Η παγκόσμια βιομηχανική ζήτηση ύδατος (εκτός της ηλεκτρικής ενέργειας) αναμένεται να αυξηθεί κατά 55% μέχρι το 2050. Η βιομηχανική χρήση των υδάτων προβλέπεται να αυξηθεί από 300 km³/έτος το 2010 σε 550 km³/έτος έως το τέλος του εικοστού πρώτου αιώνα [8]. Το σχήμα 1 απεικονίζει τις πραγματικές και προβλεπόμενες αποσύρσεις ύδατος για τη βιομηχανία σε σύγκριση με τη γεωργία και την παροχή οικιακής ύδρευσης για διαφορετικά διαθεσίμα σύνολα δεδομένων.



Σχήμα 1: Απολήψεις ύδατος για τη βιομηχανία, τη γεωργία και την παροχή οικιακής ύδρευσης [5]

Το κυριότερο ζήτημα με το νερό στη βιομηχανία είναι η ποιότητα, όπως απορρίπτεται μετά τη χρήση και όχι η ποσότητα. Οι περισσότερες βιομηχανικές διεργασίες υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού. Οι βιομηχανίες στις σύγχρονες οικονομίες έχουν θεσμοθετημένο καθήκον, σύμφωνα με εθνικά και διεθνή πρότυπα, να καθαρίσουν τα λύματα τους πριν από την απόρριψή τους σε υδάτινα σώματα, όπως λίμνες, ποτάμια ή

θάλασσες. Ο βαθμός επεξεργασίας του νερού εξαρτάται από την ποσότητα και την ποιότητα του υδατικού συστήματος υποδοχής και από τον τρόπο με τον οποίο το αραιωμένο νερό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί κατόπιν.

Η ίδια πηγή [5] αναφέρει πως δεν υπάρχουν διαθέσιμες εκτιμήσεις συνολικού κόστους για τις επιπτώσεις της κακής ποιότητας νερού στη βιομηχανία. Ωστόσο, για παράδειγμα, εκτιμάται ότι ο βιομηχανικός τομέας στην Κίνα έχασε 1,7 δισεκατομμύρια δολάρια για τη ρύπανση των υδάτων το 1992. Ακόμα, 12 εταιρείες ανέφεραν 24 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ σε οικονομικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την μείωση της ποιότητας των υδάτων σε μια έρευνα για το 2017. Ως εκ τούτου, είναι σωστό να αντιμετωπιστεί η υποβάθμιση των υδάτινων πόρων που προκύπτει από τη χρήση των βιομηχανικών υδάτων, ενθαρρύνοντας παράλληλα την οικονομική ανάπτυξη.

1.2 Ελλάδα και Υδατικοί Πόροι

Η Ελλάδα διαθέτει επαρκείς επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους, αλλά δεν είναι καθόλα αξιοποιήσιμοι. Τα προβλήματα εκμετάλλευσης τους εντοπίζονται σε φυσικές δυσκολίες αλλά και θεσμικές [9].

Οι κύριες φυσικές αιτίες που δυσχεραίνουν το έργο της εκμετάλλευσης είναι:

- η ανομοιόμορφη κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο και στο χρόνο
- η γεωμορφολογία της χώρας
- η ανομοιόμορφη κατανομή της ζήτησης στο χώρο και το χρόνο που αντιτίθεται σε αυτήν της προσφοράς
- η εξάρτηση της βόρειας Ελλάδας από τις επιφανειακές απορροές ποταμών που έρχονται από γειτονικά κράτη
- η μεγάλη ακτογραμμή
- τα πολλά άνυδρα ή με ελάχιστους υδατικούς πόρους νησιά της χώρας.

Κυριότερος όμως κρίνεται ο θεσμικός ρόλος, μιας που η πολιτεία διαχειρίζεται τους υδάτινους πόρους αποσπασματικά και πλημμελώς.

Στον πίνακα που ακολουθεί με δεδομένα από την AQUASTAT και την EUROSTAT παρουσιάζονται αναλυτικά τα υδατικά αποθέματα της χώρας το 2012 και οι απολήψεις από τους διάφορους οικονομικούς τομείς για το 2015.

Πίνακας 1: Υδατικά Αποθέματα Ελλάδα για το έτος 2012 και Απολήψεις για το έτος 2015

	Συνολικά Ανανεώσιμα Υδατικά Αποθέματα	Συνολικά Εκμεταλλεύσιμα Υδατικά Αποθέματα	Απολήψεις Νερού		
	Ποσότητα (10 ⁹ m ³)	Ποσότητα (10 ⁹ m ³)	Ποσότητα (10 ⁹ m ³)	Ποσοστό %	
Επιφανειακά	65,1	26	Αγροτικός	8,28	83,60
Υπόγεια	10,3	3	Μεταποιητική Βιομηχανία	0,13	1,27
			Δημοτικά	1,42	14,32

Το ολικό υδατικό δυναμικό υπερκαλύπτει κατά πολύ την ποσότητα που διατίθεται στις χρήσεις. Παρόλα αυτά, μικρό μέρος από αυτό είναι οικονομικά και τεχνικά αξιοποιήσιμο, με αποτέλεσμα την ύπαρξη προβλημάτων

ανεπάρκειας νερού σε διάφορες περιοχές και για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Στενή σχέση με τη διαθέσιμη ποσότητα νερού έχει βέβαια και η ποιότητα, η οποία είναι το αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης φυσικών συνθηκών και ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Αν και η Ελλάδα είχε γενικά νερά καλής ποιότητας, έχει αρχίσει να φαίνεται η υποβάθμιση τόσο των επιφανειακών όσο και των υπόγειων υδατικών πόρων, εξαιτίας των μακροχρόνιων και χωρίς προγραμματισμό και έλεγχο ανθρώπινων δραστηριοτήτων κυρίως των τελευταίων χρόνων.

Παρότι οι μεταποιητικές βιομηχανίες αποτελούν μικρό ποσοστό των απολήψεων, μόλις το 1,27%, δεν υπάρχουν δεδομένα για τον όγκο υγρών αποβλήτων που δημιουργούν και κατ' επέκταση δε μπορούμε να γνωρίζουμε το ρόλο τους στο κύκλο του νερού.

Παρόλα αυτά ο Κουτσογιάννης κ.α. [9] αναφέρουν ότι δεν έχει επιτευχθεί σημαντική πρόοδος στα βιομηχανικά υγρά απόβλητα, όπου απαιτείται ενίσχυση των προσπάθειών επεξεργασίας τους και συγκέντρωσης των μονάδων σε βιομηχανικές περιοχές. Ακόμα, σχολιάζουν πως αξιόλογη πρόοδος παρουσιάζεται στην αντιμετώπιση της ρύπανσης από αστικά λύματα (σημειακές πηγές). Αντίθετα, δεν έχει θιγεί ακόμα το πρόβλημα της ρύπανσης από τις απορροές όμβριων στις αστικές περιοχές.

1.3 Βιομηχανική Δραστηριότητα στην Ελλάδα και τον κόσμο

Έχοντας δει πόσο καθοριστική είναι η βιομηχανία στον θέμα των υδατικών καταναλώσεων και αποθήσεως ύδατος και τον αντίκτυπο της σε θέματα λειψυδρίας διερευνούνται οι τομείς παραγωγής με υψηλή δραστηριότητα στη χώρα μας.

Μέσω του ποσοστού συμμετοχής στο ΑΕΠ μπορεί να φάνει που πραγματοποιείται η παραγωγή σε μια οικονομία. Το σχήμα 2 παρουσιάζει το ποσοστό συμμετοχής της γεωργίας, της βιομηχανίας και των υπηρεσιών στο συνολικό ΑΕΠ παγκοσμίως. Ο αγροτικός τομέας περιλαμβάνει τη γεωργία, την αλιεία και τη δασοκομία. Η βιομηχανία περιλαμβάνει δραστηριότητες εξόρυξης, μεταποίησης, παραγωγής ενέργειας και τον κατασκευαστικό κλάδο. Οι υπηρεσίες καλύπτουν κυβερνητικές δραστηριότητες, επικοινωνίες, μεταφορές, χρηματοδότηση και όλες τις άλλες ιδιωτικές οικονομικές δραστηριότητες που δεν παράγουν υλικά αγαθά.



Σχήμα 2: Συμμετοχή τομέων οικονομικών δραστηριοτήτων στο παγκόσμιο ΑΕΠ για το 2017(WorldBank)

Ο τομέας των υπηρεσιών κυριαρχεί στη διαμόρφωση του ΑΕΠ με ποσοστό 65,1%. Η βιομηχανία συμμετέχει με ποσοστό 25% στο ΑΕΠ, με τις μεταποιήσεις να κυριαρχούν στο ποσοστό αυτό μιας που ανέρχονται στο 16% του συνολικού. Ο αγροτικός τομέας σχηματίζει μόλις το 4%.

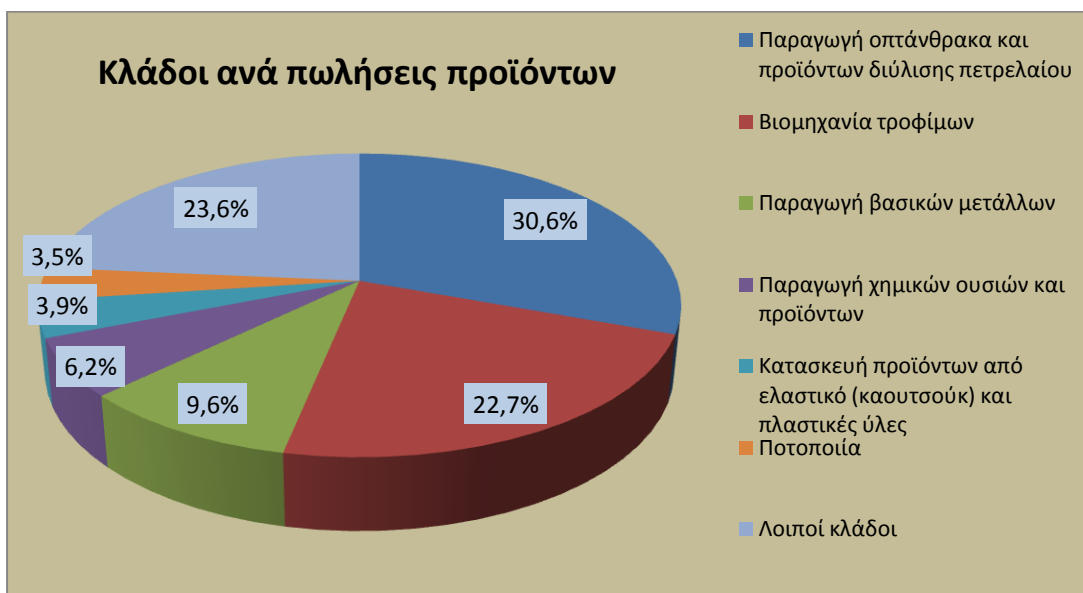
Παρόμοια εικόνα παρουσιάζεται στο ΑΕΠ της Ελλάδας (σχήμα 3) με τον τομέα των υπηρεσιών και τον αγροτικό να κυμαίνονται σε ποσοστά 68,9% και 4% αντίστοιχα. Η βιομηχανία διαμορφώνει μόλις το 15% με τις μεταποιητικές να κυριαρχούν και εδώ με ποσοστό 9%.



Σχήμα 3: Συμμετοχή τομέων οικονομικών δραστηριοτήτων στο ΑΕΠ της Ελλάδας για το 2017 (WorldBank)

Η έρευνα συνεχίζεται στις βιομηχανίες μεταποίησης με σκοπό τον εντοπισμό των κυρίαρχων επιμέρους δραστηριοτήτων. Από την Ελληνική Στατιστική Εταιρεία συλλέχθηκαν δεδομένα συμμετοχής τους και παρουσιάζονται στο σχήμα 4.

Στην Ελλάδα οι κύριοι τομείς βιομηχανικής δραστηριότητας είναι η παραγωγή οπτανθράκων και προϊόντων διύλισης πετρελαίου και η βιομηχανία τροφίμων με ποσοστά 30,6% και 22,7% αντίστοιχα.



Σχήμα 4: Συνολική αξία πωληθέντων προϊόντων σε εκατ.€ ανά κλάδο βιομηχανικής δραστηριότητας για το έτος 2015

Η συμμετοχή του τομέα της διύλισης στην οικονομία της χώρας ήταν καθοριστική στην επιλογή των ΕΛΠΕ και συγκεκριμένα των Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων Ασπροπύργου για τον υπολογισμό του ΥΑ της εφοδιαστικής τους αλυσίδας.

2. Η έννοια του Υδατικού Αποτυπώματος

2.1 Ορισμός

Το Υδατικό Αποτύπωμα (ΥΑ) ως δείκτης διατυπώθηκε πρώτη φορά από το Hoekstra το 2002 [10] και αντιπροσωπεύει την άμεση χρήση γλυκού νερού από έναν καταναλωτή ή παραγωγό, αλλά και την έμμεση - το νερό δηλαδή που καταναλώθηκε ή ρυπάνθηκε σε όλα τα στάδια της παραγωγικής αλυσίδας.

Το ΥΑ συνήθως έχει μονάδες όγκου νερού/ χρόνο ή όγκου νερού / μονάδα προϊόντος και μπορεί να υπολογιστεί σε όλες τις κλίμακες μιας παραγωγικής διαδικασίας. Ο δείκτης μπορεί να αφορά σε μία διεργασία, ένα προϊόν, μία επιχείρηση ή ακόμα και σε ένα κράτος. Το κοινό στοιχείο όλων των εφαρμογών είναι ο διαμερισμός των διεργασιών που συμβαίνουν κατά την παραγωγική διαδικασία, ο υπολογισμός του ΥΑ για κάθε μία από αυτές και στο τέλος η σύνθεση τους.

Το μέρος του ΥΑ που αναφέρεται στην κατανάλωση χωρίζεται σε συνιστώσες, την πράσινη που μετρά την κατανάλωση βρόχινου νερού και την μπλε που μετρά την κατανάλωση υπογείων ή επιφανειακών υδάτων. Η τρίτη συνιστώσα είναι η γκρι και αναφέρεται στην υδατική ρύπανση.

2.1.1 Η μπλε συνιστώσα

Η μπλε συνιστώσα του Υδατικού Αποτυπώματος μπορεί να εκφραστεί ως ο όγκος γλυκού νερού που καταναλώνεται ανά μονάδα συγκεκριμένης διαδικασίας ή προϊόντος. Για τη διαμόρφωση της μπλε συνιστώσας διερευνούνται οι ποσότητες νερού σε κάθε διεργασία που εξατμίζονται (blue water evaporation), αυτές που ενσωματώνονται στο προϊόν (blue water incorporation) και τέλος αυτές που είτε καταλήγουν σε διαφορετικούς σχηματισμούς από τους οποίους αντλήθηκαν είτε σε διαφορετική χρονική περίοδο (lost return flow). Το ΥΑ της μπλε συνιστώσας μίας διεργασίας έχει μονάδες όγκου νερού/χρόνος και υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση 1.

$$WF_{blue} = BlueWaterEvaporation + BlueWaterIncorporation + LostReturnFlow \quad (1)$$

Συγκεκριμένα, αναφέρεται στην κατανάλωση των υδατικών αποθεμάτων (επιφανειακών και υπογείων) για την παραγωγή ή κατά μήκος της παραγωγικής αλυσίδας ενός προϊόντος. Η έννοια της κατανάλωσης αφορά στην απώλεια ύδατος από το διαθέσιμο σώμα νερού σε μία λεκάνη απορροής. Αυτό συμβαίνει είτε όταν από αυτή εξατμίζεται, μεταφέρεται σε άλλη ή στη θάλασσα ο όγκος νερού είτε όταν ενσωματώνεται στο προϊόν. Ως αποτέλεσμα, οποιεσδήποτε ποσότητες νερού επαναχρησιμοποιούνται ή καταλήγουν στη περιοχή από την οποία αντλήθηκαν δε συμμετέχουν στη μπλε συνιστώσα.

2.1.2 Η πράσινη συνιστώσα

Ως πράσινη συνιστώσα του Υδατικού Αποτυπώματος ορίζεται ως η κατανάλωση των αποθεμάτων πράσινου νερού. Το βρόχινο νερό, δηλαδή, που αποθηκεύεται στο χώμα ως υγρασία (όγκος νερού/χρόνος). Πιο

συγκεκριμένα, περιγράφει τις ποσότητες βρόχινου νερού που καταναλώνονται σε μία διεργασία παραγωγής και αποτελεί το άθροισμα των ποσοτήτων νερού που εξατμίζονται (green water evaporation) και ενσωματώνονται (green water incorporation) στο προϊόν όπως φαίνεται στη εξίσωση 2.

$$WF_{green} = GreenWaterEvaporation + GreenWaterIncorporation \quad (2)$$

Αυτή μπορεί είτε να μετρηθεί με μία σειρά εμπειρικών τύπων είτε να εκτιμηθεί βάσει κλιματικών δεδομένων, χαρακτηριστικών εδάφους και προϊόντος.

Η πράσινη συνιστώσα παρουσιάζει μεγάλες τιμές κυρίως στις αγροτικές δραστηριότητες ή σε άλλους υπολογισμούς όπου η βροχή είναι σημαντικό μέσο πρόσληψης νερού, όπως το ΥΑ μίας χώρας ή περιοχής.

Η διάκριση μεταξύ της μπλε και της πράσινης συνιστώσας είναι σημαντική, λόγω των κοινωνικών περιβαλλοντικών και οικονομικών διαφορών στις επιπτώσεις της χρήσης επιφανειακών και υπογείων υδάτων από αυτές του βρόχινου νερού.

2.1.3 Η γκρι συνιστώσα

Η γκρι συνιστώσα αναφέρεται στη ρύπανση των υδάτων και ορίζεται ως ο υδάτινος όγκος που απαιτείται για τη αφομοίωση του φορτίου των ρύπων από το υδάτινο περιβάλλον. Ο απαιτούμενος αυτός όγκος εξαρτάται από την εκάστοτε υπάρχουσα νομοθεσία για τη ποιότητα νερού αλλά και από την ποιότητα του αποδέκτη.

Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται από τη διαίρεση του φορτίου των ρύπων προς τη διαφορά της μέγιστης συγκέντρωσης αυτού που ορίζει η νομοθεσία για κάθε ρύπο από αυτής που φυσικά υπάρχει στον αποδέκτη σύμφωνα με τη σχέση 3.

$$WF_{grey} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \quad (3)$$

όπου:

L : φορτίο ρύπων (μάζα /χρόνος)

C_{max} : μέγιστο περιβαλλοντικό όριο συγκέντρωσης για το ρύπο (μάζα /όγκος)

C_{nat} : φυσική συγκέντρωση ρύπου στο υδάτινο σώμα (μάζα /όγκος)

Υπάρχει η δυνατότητα, αν μία βιομηχανία, πριν αποβάλει υδατικά λύματά της, τα έχει επεξεργαστεί, ώστε να είναι εντός των προαναφερθέντων ορίων, να έχει μηδενική γκρι συνιστώσα.

Επιπλέον, οι Hoekstra et al [10] ορίζουν ένα κρίσιμο φορτίο ρύπων ως το φορτίο αυτό που θα καταναλώσει την ικανότητα αφομοίωσης του υδάτινου αποδέκτη (σχέση 4) και αναφέρουν πως όταν το υπολογιζόμενο φορτίο ξεπεράσει την τιμή του κρίσιμου, η γκρι συνιστώσα ταυτίζεται με τον όγκο των υγρών αποβλήτων που απορρίπτεται.

$$L_{crit} = R(C_{max} - C_{nat}) \quad (4)$$

όπου :

R : ογκομετρική ροή αποβλήτων στον αποδέκτη (όγκος/χρόνος)

Η διαφορά της χρήσης νερού στο Υδατικό Αποτύπωμα από την κλασική μέτρηση της άντλησης νερού έγκειται στο ότι το ΥΑ : δεν περιορίζεται μόνο στην μπλε συνιστώσα, αλλά εμπεριέχει τις γκρι και πράσινη, δεν υπολογίζει μόνο την άμεση χρήση νερού αλλά αφορά και στην έμμεση και, τέλος, δεν συμπεριλαμβάνει στον υπολογισμό της μπλε συνιστώσας οποιοδήποτε όγκο νερού ο οποίος καταλήγει στην ίδια λεκάνη απορροής.

Συμπερασματικά, το Υδατικό Αποτύπωμα μπορεί να θεωρηθεί ένας συνολικός δείκτης πολλών διαστάσεων για την εκμετάλλευση των υδατικών αποθεμάτων και δείχνει τον όγκο κατανάλωσης νερού ανά πηγή αλλά και τους όγκους του υγρών αποβλήτων ανά πηγή ρύπανσης · όλες οι συνιστώσες του Υδατικού Αποτυπώματος προσδιορίζονται σε συγκεκριμένα γεωγραφικά πλαίσια και για συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

2.2 Εικονικό νερό (Virtual Water)

Το εικονικό νερό αναφέρεται στην ποσότητα νερού που απαιτείται για την παραγωγή ενός συγκεκριμένου προϊόντος. Η περιεκτικότητα σε εικονικό νερό μπορεί να αξιολογηθεί σε επίπεδο πεδίου ή επεξεργασίας, ανάλογα με το συγκεκριμένο αντικείμενο ή το αντικείμενο της μελέτης [11]. Το νερό ονομάζεται «εικονικό» επειδή η ποσότητα νερού που περιέχεται στο τελικό προϊόν είναι αμελητέα σε σύγκριση με το ποσό που εισέρχεται στην παραγωγή του. Η ιδέα για το εικονικό νερό εισήχθη από τον Allan το 1998 και εμπνεύστηκε από την έρευνά του σχετικά με την καταλληλότητα των εισαγωγών εικονικού νερού ως μερική λύση στα προβλήματα λειψυδρίας στη Μέση Ανατολή. Ισχυρίστηκε ότι το εμπόριο προϊόντων υψηλής έντασης νερού στην περιοχή της Μέσης Ανατολής ανακούφισε την ανάγκη οι χώρες εισαγωγής να χρησιμοποιήσουν το δικό τους νερό, για να παράγουν το ίδιο προϊόν.

Η περιεκτικότητα σε εικονικό νερό μπορεί επίσης να εκφραστεί ως Υδατικό Αποτύπωμα. Ένα συνολικό ΥΑ ενός έθνους δείχνει το νερό που χρησιμοποιείται σε μια χώρα και το νερό που χρησιμοποιείται εκτός των συνόρων μιας χώρας, για να παράγει όλα τα καταναλωθέντα προϊόντα. Το πιο σημαντικό είναι ότι αξιολογεί από πού προέρχεται το νερό και μπορεί να διερευνήσει με ουσιαστικό τρόπο την καταλληλότητα των τόπων παραγωγής να «εξάγουν» το νερό.

2.3 Υδατικό αποτύπωμα για τον έλεγχο της προόδου σε θέματα βιώσιμης ανάπτυξης

Οι Hoekstra και Charagain πρότειναν [12] και αξιολόγησαν τη χρήση του ΥΑ για τον έλεγχο της προόδου στους στόχους SDG 6.3 και SDG 6.4 των Ηνωμένων Εθνών (UN Sustainable Development Goals). Ο στόχος 6 είναι πλήρως αφιερωμένος στο νερό και σκοπός του είναι η εξασφάλιση της διαθεσιμότητας και της βιώσιμης διαχείρισης του νερού και της υγιεινής για όλους.

Πίνακας 2: Στόχοι για βιώσιμη ανάπτυξη 6.3 και 6.4

SDG 6	Εξασφάλιση της διαθεσιμότητας και της βιώσιμης διαχείρισης του νερού και της υγιεινής για όλους
6.3	Μέχρι το 2030, να βελτιωθεί η ποιότητα του νερού μειώνοντας τη ρύπανση, εξαλείφοντας τις αποθέσεις και ελαχιστοποιώντας τις απελευθερώσεις επικίνδυνων χημικών ουσιών και υλικών, μειώνοντας κατά το ήμισυ το ποσοστό των μη επεξεργασμένων λυμάτων και να αυξηθεί ουσιαστικά η ανακύκλωση και η επανάχρηση παγκοσμίως
6.4	Μέχρι το 2030, να αυξηθεί ουσιαστικά η αποδοτικότητα της χρήσης του νερού σε όλους τους τομείς και να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα στις απολήψεις και την προμήθεια γλυκού νερού για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας και τη σημαντική μείωση των αριθμών των ατόμων ζουν υπό το καθεστώς αυτό.

Η πράσινη, η μπλε ή και η γκρι συνιστώσα του ΥΑ μιας παραγωγικής διαδικασίας ή ενός προϊόντος είναι ένας όγκος νερού που δεν λέει πολλά από μόνος του. Δύο σημαντικά ερωτήματα είναι: (1) είναι ένας λογικός όγκος δεδομένου του είδους της διαδικασίας ή του προϊόντος και της διαθέσιμης βέλτιστης τεχνολογίας και πρακτικών; και (2) το ΥΑ όταν αθροιστεί με τα άλλα ΥΑ σε μια συγκεκριμένη λεκάνη απορροής υπερβαίνουν το ανώτατο όριο που μπορεί να θεωρηθεί βιώσιμο; Το πρώτο ερώτημα αφορά στην αποδοτικότητα των πόρων (ποια είναι η κατανάλωση νερού ή η ρύπανση ανά διεργασία ή προϊόντος), ενώ το δεύτερο ερώτημα αναφέρεται στη βιωσιμότητα της χρήσης των πόρων (η συνολική κατανάλωση νερού υπερβαίνει τη διαθεσιμότητα ύδατος ή το συνολικό φορτίο ρύπων υπερβαίνει την ικανότητα αφομοίωσης τους από το τοπικό σύστημα γλυκών υδάτων). Και οι δύο στόχοι SDG 6.3 και 6.4 περιέχουν ένα στοιχείο αποτελεσματικότητας και ένα στοιχείο βιωσιμότητας.

Η γκρι συνιστώσα μπορεί να είναι ένας κατάλληλος δείκτης για τη μέτρηση της προόδου στο στόχο 6.3. Για κάθε διαδικασία ή προϊόν που συνοδεύεται από μια ορισμένη ποσότητα ρύπανσης των υδάτων θα μπορούσαν να αναπτυχθούν πρότυπα που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως επίπεδα αναφοράς για το ποιο επίπεδο ρύπανσης είναι λογικό, δεδομένων των διαθέσιμων τεχνολογιών και πρακτικών. Στις βιομηχανίες, όπου μπορούν να ανακτηθούν χημικά από τα λύματα, το επίπεδο αναφοράς μπορεί να είναι ακόμη και ένα γκρι ΥΑ μηδέν ή σχεδόν μηδενικό.

Δεδομένου ότι η μείωση της γκρι συνιστώσας στη βιομηχανική παραγωγή μπορεί να αυξήσει το ενεργειακό κόστος, οι πιθανές σχετικές αντισταθμίσεις πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά κατά τον καθορισμό των επιπέδων αναφοράς. Επιπλέον, πρότυπα μπορούν να εξελιχθούν με την πάροδο του χρόνου όταν διατίθενται νέες τεχνολογίες.

Έτσι, όταν εξετάζεται η συνολική γκρι συνιστώσα όλων των δραστηριοτήτων σε ένα σύστημα υδατικών πόρων (όπως μια λεκάνη απορροής ή υδροφόρου ορίζοντα), μπορεί να συγκριθεί το σύνολο αυτό με τη μέγιστη βιώσιμη γκρι. Για να επιτευχθεί η περιβαλλοντική βιωσιμότητα, η συνολική συνιστώσα στο σχηματισμό ή λεκάνη απορροής πρέπει να μειωθεί με το πέρασμα του χρόνου στο μέγιστο βιώσιμο επίπεδο.

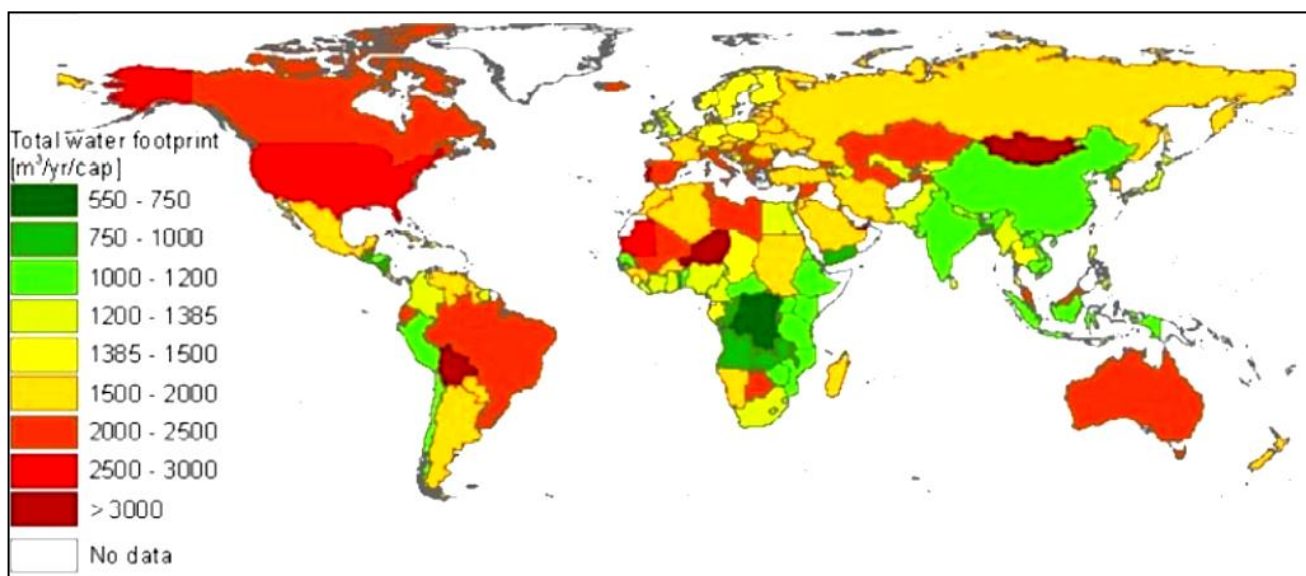
Με τον τρόπο αυτό, καθώς η γκρι συνιστώσα αποδίδεται σε συγκεκριμένες διεργασίες ή παραγωγές, ο στόχος για τη βελτίωση της ποιότητας νερού και τη μείωση της ρύπανσης του νερού μπορεί να αποδοθεί σε αυτούς που είναι άμεσα ή έμμεσα υπεύθυνοι για το φορτίο των ρύπων.

Παρομοίως, η μπλε συνιστώσα του ΥΑ μπορεί να είναι ένας κατάλληλος δείκτης για τη μέτρηση της προόδου στο στόχο 6.4. Δεδομένων των διαθέσιμων τεχνολογιών και πρακτικών μπορεί να καθοριστεί ένα πρότυπο για κάθε διαδικασία ή προϊόν, που μπορεί να λειτουργήσει και σε τοπικές συνθήκες όπως το έδαφος ή το κλίμα. Στο γεωργικό τομέα το πρώτο βήμα είναι να αναπτυχθούν πρότυπα για το συνολικό καταναλωτικό ΥΑ ανά καλλιέργεια λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες και τις καλύτερες πρακτικές διαχείρισης. Από αυτό, βάσει του διαθέσιμου βρόχινου νερού (πράσινο νερό), μπορεί να προκύψει το σημείο αναφοράς για την κατανάλωση μπλε νερού. Επιπλέον, μπορεί να συγκριθεί η συνολική μπλε συνιστώσα όλων των δραστηριοτήτων σε ένα σύστημα ύδρευσης με τη μέγιστη βιώσιμη μπλε στο σύστημα αυτό, το οποίο ισούται με την ποσότητα της ροής νερού που είναι διαθέσιμη για κατανάλωση.

2.4 Υδατικό Αποτύπωμα παγκόσμιο και της χώρας μας

Οι Mekonnen και Hoekstra το 2011 [13] μελέτησαν τα ΥΑ των κρατών παγκοσμίως. Η μελέτη αυτή ποσοτικοποιεί και χαρτογραφεί τα αποτυπώματα νερού των εθνών τόσο από πλευράς παραγωγής όσο και από πλευράς κατανάλωσης και εκτιμά τις διεθνείς εικονικές ροές νερού και την εθνική και παγκόσμια εξοικονόμηση νερού ως αποτέλεσμα του εμπορίου. Ολόκληρη η εκτίμηση τους περιλαμβάνει ανάλυση των αποτυπώσεων νερού, των εικονικών ροών νερού και της εξοικονόμησης νερού στα πράσινα, μπλε και γκρι συστατικά τους.

Το κύριο εύρημα της μελέτης ήταν ότι το παγκόσμιο αποτύπωμα νερού κατά την περίοδο 1996-2005 ήταν 9087 Gm³/έτος, με τις επιμέρους συνιστώσες να συμβάλλουν με ποσοστά 74% η πράσινη, 11% η μπλε και η γκρι 15%. Η γεωργική παραγωγή ουσιαστικά διαμορφώνει το συνολικό ΥΑ καθώς ευθύνεται για το 92% αυτού. Στην εικόνα 1 που ακολουθεί παρουσιάζονται το ΥΑ στο παγκόσμιο χάρτη, με έντονο κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται οι χώρες με μεγάλο ΥΑ, ενώ με πράσινο αυτές που το ΥΑ υπολογίστηκε σε χαμηλά επίπεδα.



Εικόνα 1: Το ΥΑ παγκοσμίως

Η μελέτη καταδεικνύει την παγκόσμια διάσταση της κατανάλωσης νερού και της ρύπανσης, δείχνοντας ότι πολλές χώρες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τους υδάτινους πόρους άλλων χωρών (π.χ. το Μεξικό εξαρτάται από τις εισαγωγές εικονικού νερού από τις ΗΠΑ) και ότι πολλές χώρες έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην κατανάλωση νερού και τη ρύπανση άλλων χωρών, όπως παραδείγματος χάριν η Ιαπωνία και πολλές ευρωπαϊκές χώρες λόγω των μεγάλων εξωτερικών ΥΑ.

Το Μεξικό και η Ισπανία είναι οι δύο χώρες με τη μεγαλύτερη εθνική εξοικονόμηση νερού, καθώς κυρίως βασίζονται σε εμπόριο εικονικού νερού.

Η Ελλάδα παρουσιάζει ένα από τα πιο υψηλά ΥΑ ύψους 26 000 εκατ. m³/χρόνο με το ΥΑ ανά κάτοικο να υπολογίζεται στα 6,4 m³/ημέρα.

3. Μεθοδολογία για τον υπολογισμό του ΥΑ μίας Βιομηχανίας

Το ΥΑ βρίσκει εφαρμογή, όπως έχει ήδη παρουσιαστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, σε πολλούς διαφορετικούς τομείς, από τον υπολογισμό του για ένα προϊόν έως αυτόν για ένα κράτος. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στον προσδιορισμό του ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας των Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων των ΕΛΠΕ. Δε θα ήταν δυνατή η κατανόηση της μεθοδολογίας χωρίς την ολοκληρωμένη παρουσίαση του τρόπου υπολογισμού του ΥΑ μίας Βιομηχανικής Μονάδας, όπως αυτή διαμορφώθηκε και δημοσιεύεται από τους Hoekstra, Charagain et al [10]

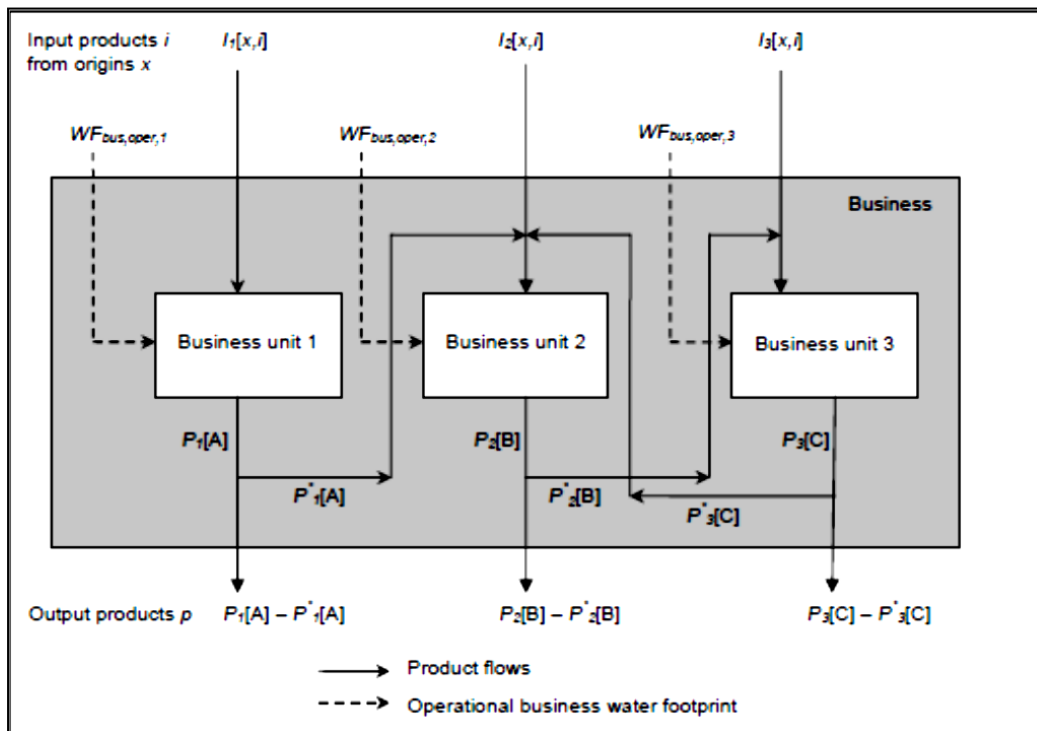
3.1 Υπολογισμός του Υδατικού Αποτυπώματος μίας Επιχείρησης

Για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας αυτής είναι απαραίτητη η θεώρηση της επιχείρησης ως μία ενιαίας ενότητας, η οποία παράγει αγαθά ή και υπηρεσίες. Αυτή μπορεί να είναι μία επιχείρηση, μία βιομηχανία ή και ακόμα ένας κυβερνητικός οργανισμός. Μπορεί ακόμα να αναφέρεται σε διαφορετικής κλίμακας επιχειρήσεις, μία συγκεκριμένη βιομηχανική μονάδα, δηλαδή, ή και σε ολόκληρο τομέα επιχειρήσεων με παρόμοια δραστηριότητα, όπως για παράδειγμα το σύνολο των μεταποιητικών βιομηχανιών μιας χώρας. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει ο εκάστοτε ερευνητής να οριοθετεί με σαφήνεια τα οργανωτικά όρια της επιχείρησης και να την παρουσιάζει ως ένα σύστημα διαχωρισμένο από το περιβάλλον του όπου οι τροφοδοσίες και τα προϊόντα είναι γνωστά.

Συγκεκριμένα, το ΥΑ μίας επιχείρησης (WF_{bus} , όγκος νερού/χρόνο) ορίζεται ως ο συνολικός όγκος γλυκού νερού, ο οποίος χρησιμοποιείται άμεσα ή έμμεσα για τη λειτουργία και την υποστήριξη μίας επιχείρησης [10] και αποτελείται από δύο κύρια κομμάτια. Αυτά είναι το λειτουργικό Υδατικό Αποτύπωμα ($WF_{bus,oper}$), το οποίο αφορά στην κατανάλωση ή την ποσότητα νερού που ρυπαίνεται από την ίδια την επιχείρηση και το ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας ($WF_{bus,sup}$), οι αντίστοιχες υδατικές ποσότητες, δηλαδή, που προκύπτουν για τη παραγωγή όλων των αγαθών και υπηρεσιών που απαιτούνται για το σχηματισμό των πρώτων υλών της επιχείρησης.

$$WF_{bus} = WF_{bus,oper} + WF_{bus,sup} \quad (1)$$

Όταν μία βιομηχανία είναι μεγάλης κλίμακας και ανομοιογενής είτε αυτό οφείλεται σε διαφορετικές περιοχές δραστηριότητας είτε σε διαφορετικά παραγόμενα προϊόντα, θα πρέπει να διαιρεθεί σε αυτόνομες βιομηχανικές μονάδες με το ίδιο προϊόν που παράγεται στην ίδια περιοχή, ενώ παρουσιάζει ενδιαφέρον η τελική συνθετική απεικόνιση του συστήματος αυτών των διακριτών μονάδων.



Εικόνα 2: Παράδειγμα ανάλυσης βιομηχανίας σε επιμέρους μονάδες για τον υπολογισμό του ΥΑ

Στην εικόνα 2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ανάλυσης μίας βιομηχανίας σε τρεις επιμέρους μονάδες. Η κάθε μονάδα αντιμετωπίζεται ξεχωριστά ορίζοντας τις εισροές και εκροές. Η απεικόνιση αυτή επιτρέπει την διερεύνηση και αποτύπωση και των εσωτερικών ροών μεταξύ των μονάδων, γεγονός που βοηθάει στο μετέπειτα άθροισμα των ΥΑ με αποφυγή την πολλαπλή καταμέτρηση ροών.

3.1.1 Λειτουργικό Υδατικό Αποτύπωμα

Μετά το διαχωρισμό του ΥΑ μεταξύ λειτουργικού και εφοδιαστικής αλυσίδας η κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες χωρίζεται σε δύο μέρη. Το ΥΑ το οποίο σχετίζεται απευθείας με την παραγωγή προϊόντων από επιχείρηση ($WF_{bus,oper,inputs}$) και το έμμεσο ΥΑ ($WF_{bus,oper,overhead}$) που αναφέρεται στις γενικές δραστηριότητες για τη λειτουργία της επιχείρησης (π.χ. εστιατόρια, αποδυτήρια, υπηρεσίες κ.α.).

$$WF_{bus,oper} = WF_{bus,oper,inputs} + WF_{bus,oper,overhead} \quad (2)$$

Το λειτουργικό ΥΑ ισούται, όπως αναφέρθηκε, με την κατανάλωση νερού και τη ρύπανση του ύδατος που σχετίζονται με τις διεργασίες της επιχείρησης. Αυτό και κάθε επιμέρους στοιχείο του πρέπει να παρουσιάζεται αναλυτικά στις τρεις συνιστώσες μπλε, πράσινη και γκρι για κάθε διεργασία, όπως αυτή αναλύεται στη παράγραφο §2.1., και στο τέλος να αθροίζεται στο σύνολο τους.

3.1.2 Γκρι συνιστώσα για υγρά απόβλητα

Η γκρι συνιστώσα υπολογίζεται από τη διαίρεση του φορτίου των ρύπων προς τη διαφορά της μέγιστης συγκέντρωσης αυτού που ορίζει η νομοθεσία για κάθε ρύπο από αυτής που φυσικά υπάρχει στο περιβάλλον απόθεσης σύμφωνα με τη σχέση 3.

$$WF_{grey} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \quad (3)$$

όπου:

L : φορτίο ρύπων (μάζα /χρόνος)

C_{max} : μέγιστο περιβαλλοντικό όριο συγκέντρωσης για το ρύπο (μάζα /όγκος)

C_{nat} : φυσική συγκέντρωση ρύπου στο υδάτινο σώμα (μάζα /όγκος)

Στην περίπτωση που οι ρύποι είναι μέρος υγρών αποβλήτων που αποθέτονται σε ένα υδατικό σώμα, το φορτίο των ρύπων ισούται με τον όγκο των υγρών αποβλήτων επί τη διαφορά της συγκέντρωσης του ρύπου στα υγρά απόβλητα. Από τη συγκέντρωση του ρύπου που φυσιολογικά παρατηρείται στο σώμα νερού και η σχέση 3 μετασχηματίζεται όπως φαίνεται ακολούθως στην εξίσωση 4.

$$WF_{grey} = \frac{Effl \times (C_{effl} - C_{nat})}{C_{max} - C_{nat}} \quad (4)$$

όπου:

$Effl$: όγκος υγρών αποβλήτων (όγκος /χρόνος)

C_{effl} : συγκέντρωση ρύπου στα υγρά απόβλητα (μάζα /όγκος)

Για ουσίες που δεν υπάρχουν στο σώμα νερού ή και για περιπτώσεις που οι συγκεντρώσεις των ρύπων σε αυτό δεν είναι γνωστές η σχέση 4 μετασχηματίζεται.

$$WF_{grey} = \frac{Effl \times C_{effl}}{C_{max}} \quad (5)$$

3.1.3 Υδατικό Αποτύπωμα της Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Το ΥΑ εφοδιαστικής αλυσίδας διαχωρίζεται και αυτό σε αυτό της παραγωγής και το έμμεσο σύμφωνα με την εξίσωση (6).

$$WF_{bus,sup} = WF_{bus,sup,inputs} + WF_{bus,sup,overhead} \quad (6)$$

Το ΥΑ αυτό μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας του όγκους των εισαγόμενων στην επιχείρηση πρώτων υλών (δεδομένα που δίνονται από την ίδια την επιχείρηση) με το αντίστοιχα υδατικά αποτυπώματα των προϊόντων που εισάγονται σε αυτήν, δεδομένα που πρέπει να δίνονται από τους προμηθευτές είτε να εκτιμούνται με βάση σχετικά δεδομένα γνωστά για αυτούς. Η σχέση αυτή αποτυπώνεται στην εξίσωση (7).

$$WF_{bus,sup} = \sum_x \left(\sum_i (WF_{prod}[x, i] \times I[x, i]) \right) \quad (7)$$

όπου :

$WF_{bus,sup}$: Υδατικό Αποτύπωμα της εφοδιαστικής αλυσίδας της επιχείρησης (όγκος/χρόνο)

$WF_{prod}[x,i]$: Υδατικό αποτύπωμα του εισαγόμενου προϊόντος i από τη πηγή x (όγκος /μονάδα προϊόντος)

$I[x,i]$: Όγκος του εισαγόμενου προϊόντος i από την πηγή x στην επιχείρηση (μονάδα προϊόντος/ χρόνος)

Για να βρεθεί το ΥΑ του εισαγόμενου προϊόντος στην επιχείρηση που περιλαμβάνεται στην εξίσωση 7, υπολογίζεται ξεχωριστά για το κάθε προμηθευτή το ΥΑ της επιχείρησης από την οποία προέρχεται.

Ο καταμερισμός ανάμεσα στα διάφορα προϊόντα μπορεί να γίνει ανάλογα με τη μάζα, το ενεργειακό περιεχόμενο ή την οικονομική τους αξία, σύμφωνα με τη σχέση 8:

$$WF_{prod}[p] = \frac{E[p]}{\sum_p E[p]} \times \frac{WF_{bus}}{P[p]} \quad (8)$$

όπου:

$WF_{bus}[p]$: Υδατικό Αποτύπωμα της επιχείρησης (όγκος /χρόνος)

$P[p]$: Ποσότητα παραγόμενου προϊόντος p (μάζα ή όγκος / χρόνος)

$E[p]$: Οικονομική αξία προϊόντος p (νομισματική μονάδα/χρόνος)

Εναλλακτικά, αν αυτή παράγει ένα μόνο προϊόν, η σχέση 8 απλοποιείται όπως φαίνεται στην εξίσωση 9.

$$WF_{prod}[p] = \frac{WF_{bus}}{P[p]} \quad (9)$$

όπου:

$WF_{bus}[s]$: Υδατικό Αποτύπωμα της επιχείρησης (όγκος /χρόνος)

$P[p]$: Ποσότητα παραγόμενου προϊόντος (μάζα ή όγκος / χρόνος)

Το ΥΑ των εισαγόμενων προϊόντων πρέπει να αποτελείται από τρία χρώματα, τα οποία και να υπολογίζονται ξεχωριστά, σύμφωνα με την παράγραφο §2.1, έτσι ώστε να προκύπτει μια εφοδιαστική αλυσίδα με τρεις συνιστώσες.

Καθώς κάποιος ερευνά τις εφοδιαστικές αλυσίδες, ανακαλύπτει ότι εμπλέκονται και αποκλίνουν λόγω της ποικιλίας πρώτων υλών που συμμετέχουν. Η γενική οδηγία που δίνουν οι Hoekstra et. όσον αφορά στο τι μπορεί να παραλειφθεί από τους υπολογισμούς, καθώς η πλήρης αποτύπωση είναι πολλές φορές αδύνατη, είναι το ότι πάντα πρέπει στον υπολογισμό του ΥΑ να υπολογίζονται οι συγκεκριμένοι τομείς, οι οποίοι συμμετέχουν σημαντικά στο συνολικό ΥΑ.

3.1.4 Σύνθεση των επιμέρους βιομηχανικών μονάδων

Αν η επιχείρηση έχει καταμεριστεί σε επιμέρους βιομηχανικές μονάδες u , το συνολικό ΥΑ της επιχείρησης υπολογίζεται από το άθροισμα τους. Για να αποφευχθεί η διπλή καταμέτρηση ροών ανάμεσα στις επιμέρους μονάδες αφαιρείται το ποσό που κάθε φορά υπάρχει σύμφωνα με τη σχέση 10.

$$WF_{bus,tot} = \sum_u WF_{bus}[u] - \sum_u \sum_p (WF_{prod}[u,p] \times P^*[u,p]) \quad (10)$$

όπου:

$P^*[u,p]$: ο ετήσιος όγκος εξαγόμενου προϊόντος p από την βιομηχανική μονάδα u σε άλλη βιομηχανική μονάδα της ίδιας επιχείρησης. (μονάδα προϊόντος /χρόνο)

3.2 Εκτίμηση Υδατικού Αποτυπώματος και παραγόντων επιρροής του

Σε περιπτώσεις που ο άμεσος υπολογισμός του ΥΑ δεν είναι δυνατός χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι για την εκτίμηση του είτε με παραδοχές είτε με στατιστική επεξεργασία. Πρέπει να σημειωθεί, σε αντίθεση με την εκπομπή αερίων και την παγκόσμια επίδραση τους λόγω ανάμιξης, το ρυπασμένο νερό είναι περισσότερο εντοπισμένο τοπικά στις επιπτώσεις του, ενώ η συνέπεια ενός μεγαλύτερου ή μικρότερου ΥΑ που δημιουργείται από ένα άτομο ή ένα έθνος μπορεί να γίνει αισθητή απευθείας σε χώρους από όπου αυτές δημιουργούνται, γι αυτό οι εκτιμήσεις πρέπει να γίνονται σε τοπικό επίπεδο [11]. Στη συνέχεια παρουσιάζονται δυο εφαρμογές και οι μέθοδοι που ακολουθήθηκαν για τις εκτιμήσεις.

- Εκτίμηση του ΥΑ με προσέγγιση από τη βάση στην κορυφή (bottom-up approach) από τους Mekonnen και Hoekstra

Οι συγγραφείς στην αναφορά National Water Footprint Accounts [13] για τον υπολογισμό του ΥΑ της εθνικής παραγωγής κρατών χρησιμοποίησαν ως βάση την προσέγγιση (bottom-up). Στην προσέγγιση αυτή τα ξεχωριστά στοιχεία βάσης του συστήματος καθορίζονται πρώτα με μεγάλη λεπτομέρεια. Αυτά τα στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν μεγαλύτερα υποσυστήματα, τα οποία με τη σειρά τους συνδέονται, μερικές φορές σε πολλά επίπεδα, μέχρις ότου σχηματιστεί ένα πλήρες σύστημα ανώτατου επιπέδου.

Στην αναφορά οι συγγραφείς υπολόγισαν τις μπλε, πράσινη και γκρι συνιστώσες που συνδέονται με τη γεωργική παραγωγή, τη βιομηχανική παραγωγή και την παροχή οικιακής ύδρευσης στις χώρες. Εκτίμησαν, στη συνέχεια, τις διεθνείς εικονικές ροές νερού που σχετίζονται με το εμπόριο αγροτικών και βιομηχανικών προϊόντων. Με βάση αυτές τις ροές υπολόγισαν την εθνική και παγκόσμια εξοικονόμηση νερού που μπορεί να συνδυαστεί με αυτές τις εμπορικές ροές. Τέλος, ποσοτικοποίησαν το υδατικό αποτύπωμα της κατανάλωσης για όλες τις χώρες του κόσμου, διαχωρίζοντας για κάθε χώρα το εσωτερικό και το εξωτερικό Υδατικό της εθνικής κατανάλωσης.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαδικασία εκτίμησης του ΥΑ της βιομηχανικής παραγωγής και οικιακής προμήθειας νερού που χρησιμοποίησαν οι συγγραφείς. Αρχικά, εξήγαγαν δεδομένα απολήψεων νερών από τη βάση δεδομένων της AQUASTAT και για μερικά κράτη από τη EUROSTAT. Θεώρησαν ότι το 5% των εθνικών βιομηχανικών απολήψεων αφορά στην συνολική κατανάλωση που αποδίδεται στην μπλε συνιστώσα, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό ξαναγυρίζει στο υπέδαφος του ίδιου κράτους. Με ανάλογα δεδομένα από την AQUASTAT που αφορούν τον οικιακό τομέα θεώρησαν ότι το 10% των απολήψεων του τομέα είναι κατανάλωση.

Το μέρος της ροής που αποτίθεται στο περιβάλλον χωρίς προηγούμενη επεξεργασία ταυτίστηκε με το ΥΑ της γκρι συνιστώσας θεωρώντας ότι ο βαθμός αραίωσης ήταν 1. Δεδομένα για την έκταση της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων για κάθε χώρα πάρθηκαν από τη βάση δεδομένων United Nations Statistical Division, ενώ για τις χώρες που δεν βρέθηκαν δεδομένα θεωρήθηκε ότι δεν υπήρξε καμία επεξεργασία. Για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αστικών περιοχών χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα πληθυσμού σε αστικές περιοχές από την AQUASTAT, ενώ για τις αγροτικές περιοχές θεωρήθηκε και εδώ ότι δεν υπήρξε καμία επεξεργασία. Τέλος, για την έκταση της επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων για κάθε χώρα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα επεξεργασίας από δημοτικές αρχές σε αστικές περιοχές. Τα αποτελέσματα τους παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 3: ΥΑ παγκόσμιας παραγωγής (1996-2005)

Παγκόσμιο ΥΑ παραγωγής 1996-2005	(Gm ³ /yr)	
	Βιομηχανική Παραγωγή	Οικιακή προμήθεια νερού
Πράσινο	-	-
Μπλε	38	42
Γκρι	363	282
Συνολικό	400	324

- Εκτίμηση των παραγόντων που επηρεάζουν το ΥΑ με χρήση του μοντέλου STIRPAT

Το STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology) [14] που αναπτύχθηκε από τους Dietz και Rosa (1997), είναι ένα πρόγραμμα έρευνας αφιερωμένο στην κατανόηση των δυναμικών συσχετίσεων μεταξύ των ανθρώπινων συστημάτων και των οικοσυστημάτων από τα οποία εξαρτώνται. Αυτό συμβαίνει μέσω παλινδρόμησης, μίας μεθόδου προσαρμογής δεδομένων σε μία συνάρτηση με σκοπό την πρόβλεψη και αξιολόγηση βαθμού σημαντικότητας παραγόντων στη διαμόρφωση της τελικής τιμής σε δεδομένα που ανήκουν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες παραγόντων.

Αυτοί είναι το μέγεθος του πληθυσμού (Population), η ευημερία (Affluence), που περιγράφεται ως κατά κεφαλήν κατανάλωση ή παραγωγή, και η τεχνολογία (Technology), που αφορά στον αντίκτυπο ανά μονάδα κατανάλωσης ή παραγωγής. Η συνάρτηση που συντίθεται από τη παλινδρόμηση είναι γραμμική λογαριθμική της μορφής:

$$\ln I = a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + \ln e \quad (11)$$

όπου

I: η περιβαλλοντική επίπτωση

P: ο πληθυσμός

A: η ευημερία

T : η τεχνολογία

a,b,c,d : οι παράμετροι που προκύπτουν από τη παλινδρόμηση

e: το σφάλμα

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται από πολλούς ερευνητές σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε θέματα περιβαλλοντικά. Ο Liddle χρησιμοποίησε το μοντέλο STIRPAT για να μελετήσει τις αλλαγές στην ηλικιακή δομή, την αστικοποίηση και το κλίμα στις ανεπτυγμένες χώρες [15], ο Martínez-Zarzoso ανέλυσε τις επιπτώσεις της αστικοποίησης στις εκπομπές CO₂ [16] και ο Ignatius χρησιμοποίησε το μοντέλο, για να εξετάσει τις επιπτώσεις των ανθρωπογενών παραγόντων στο περιβάλλον στη Νιγηρία [17].

Συγκεκριμένα, η μελέτη των Jin et al [14] ποσοτικοποιεί το αγροτικό ΥΑ στο Πεκίνο από το 1980 έως το 2012 και εξετάζει τους παράγοντες του πληθυσμού, το επίπεδο αστικοποίησης, το κατά κεφαλήν ΑΕΠ, το συντελεστή Engel, ο οποίος ορίζεται ως το συνολικό ποσό των δαπανών διατροφής, και τη συνολική αγροτική ισχύ χρησιμοποιώντας το μοντέλο STIRPAT.

Για την περιγραφή της πραγματικής κατάστασης στο Πεκίνο επέκτειναν το μοντέλο STIRPAT λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική χρήση ενέργειας στον αγροτικό τομέα για το Πεκίνο, το επίπεδο αστικοποίησης και άλλους

παράγοντες, ενώ ο όρος I αναφέρεται στο αγροτικό YA στο Πεκίνο. Το YA υπολογίστηκε με χρήση του μοντέλου CROPWAT ,ένα πρόγραμμα το οποίο υπολογίζει τις απαιτήσεις σε νερό για την καλλιέργεια και άρδευση βασισμένο σε δεδομένα κλίματος ,εδάφους και τύπου καλλιέργειας.

Οι Jin et al χρησιμοποίησαν για την προσαρμογή του εκτεταμένου μοντέλου STIRPAT παλινδρόμηση ridge (κορυφογραμμής) έναν τύπο παλινδρόμησης που χρησιμοποιείται, όταν ο αριθμός των μεταβλητών πρόβλεψης σε ένα σύνολο υπερβαίνει τον αριθμό των παρατηρήσεων ή όταν ένα σύνολο δεδομένων έχει πολυκεντρική συμπεριφορά (συσχετισμοί μεταξύ μεταβλητών πρόβλεψης) και εφαρμόζεται συχνά σε μελέτες περιβαλλοντικής ρύπανσης.

Τα εμπειρικά τους αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι ο συντελεστής Engel αντιπροσωπεύει το ποσοστό των συνολικών δαπανών ιδιωτικής κατανάλωσης, έχει το μεγαλύτερο θετικό αντίκτυπο στην αύξηση του γεωργικού YA, ακολουθούμενη από την αστικοποίηση. Αντίθετα, η συνολική αγροτική δύναμη, ο πληθυσμός και το κατά κεφαλήν ΑΕΠ μπορούν να μειώσουν το γεωργικό YA.

3.3 Τρόποι μείωσης του YA μίας Επιχείρησης

Η στρατηγική μίας επιχείρησης για το YA της μπορεί να περιέχει μία ποικιλία στόχων και δραστηριοτήτων. Οι ίδιες οι επιχειρήσεις μπορούν να μειώσουν την μπλε συνιστώσα του λειτουργικού τους αποτυπώματος περιορίζοντας την υδατική τους κατανάλωση και με την επεξεργασία των απόβλητων τους πριν την απόρριψη τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι με τη μείωση των υγρών της αποβλήτων και την κατάλληλη επεξεργασία τους μία επιχείρηση μπορεί να αποκτήσει μηδενική γκρι συνιστώσα. Η επεξεργασία μπορεί να γίνεται είτε από την ίδια είτε σε άλλη μονάδα επεξεργασίας που να μην ανήκει σε αυτή, καθώς η ποιότητα του νερού που τελικά απορρίπτεται σε ένα υδατικό σύστημα είναι αυτή που προσδιορίζει τη γκρι συνιστώσα.

Για τις περισσότερες επιχειρήσεις το YA που αφορά στην εφοδιαστική τους αλυσίδα είναι πολύ μεγαλύτερο από το λειτουργικό τους. Το να επιτύχει κάποια αλλαγές σε αυτό είναι δύσκολο, μιας που δεν είναι στον έλεγχο της, αλλά μπορεί να είναι το πιο αποτελεσματικό. Οι επιχειρήσεις επιτυγχάνουν μείωση στο YA της εφοδιαστικής τους αλυσίδας κάνοντας συμφωνίες με προμηθευτές που ακολουθούν συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς κανονισμούς ή αλλάζοντας τους. Αυτό είναι δύσκολο, καθώς πολλές φορές απαιτεί τη μεταβολή ολόκληρου του επιχειρηματικού μοντέλου μιας εταιρείας για την ενσωμάτωση ή τον έλεγχο της εφοδιαστικής αλυσίδας ή, ακόμα, για να την παρουσιάσει στον καταναλωτή.

Μία επιχείρηση μπορεί ακόμα να στοχεύει στη μείωση του YA του καταναλωτή που χρησιμοποιεί το προϊόν της. Όταν ένας καταναλωτής χρησιμοποιεί σαμπουάν, βαφές κα. το νερό που τα συμπαρασύρει καταλήγει σε υπονόμους. Σε περίπτωση που δεν επεξεργάζεται ή όταν η χημική ουσία είναι τέτοια που αφαιρείται κατά μέρος ή και καθόλου δημιουργεί γκρι YA το οποίο θα μπορούσε να αποφευχθεί, αν η εταιρεία παραγωγής του είχε χρησιμοποιήσει ουσίες λιγότερο τοξικές ή πιο εύκολα διαχωρίσιμες.

4. Παρουσία και κατανάλωση νερού από την εξόρυξη μέχρι την παράδοση στα διυλιστήρια

Το πετρέλαιο είναι ένα υγρό ορυκτό μείγμα υδρογονανθράκων. Προέρχεται από οργανική ύλη που σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας και μετά από εκατομμύρια χρόνια μετατρέπεται σε ενώσεις άνθρακα και υδρογόνου. Εντοπίζεται σε πορώδη πετρώματα στα ανώτερα στρώματα του φλοιού της Γης σε σχηματισμούς συγκεκριμένης γεωλογικής δομής μαζί με το φυσικό αέριο και νερό. Για τον εντοπισμό των κοιτασμάτων γίνονται εκτενείς γεωφυσικές έρευνες με πιο διαδεδομένη τη σεισμική.

4.1 Επιδόσεις Παγκοσμίως για τη παραγωγή Αργού Πετρελαίου

Οι κορυφαίες εταιρείες στο τομέα της έρευνας και παραγωγής παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 4: Κύριοι Παραγωγοί Πετρελαίου για το 2015

10 Κορυφαίες Εταιρείες Παραγωγής Πετρελαίου					
	Εταιρεία	Παραγωγή (MMbbl/d)		Εταιρεία	Παραγωγή (MMbbl/d)
1	Saudi Aramco	12	6	BP	4,1
2	Gazprom	9,7	7	Royal Dutch Shell	3,9
3	NIOC	6,4	8	Pemex	3,6
4	ExxonMobil	5,3	9	Chevron	3,5
5	PetroChina	4,4	10	Kuwait's NOC	3,2

Oil and Gas Middle East, Top ten: Oil producing companies in the world, 2015 [18]

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο πίνακας αφορά σε κρατικές και μη εταιρείες και τις κατατάσσει με όρους ύψους παραγωγής αργού πετρελαίου την ημέρα. Η Saudi Aramco, η κρατική εταιρεία της Σαουδικής Αραβίας αποτελεί την κορυφαία με την παραγωγή να φθάνει τα 12 MMbbl την ημέρα καθώς η χώρα δραστηριότητας της διαθέτει τα μεγαλύτερα αποθέματα αργού πετρελαίου στον κόσμο.

Πίνακας 5: Χώρες με τα περισσότερα αποδεδειγμένα αποθέματα αργού πετρελαίου για το 2017

Χώρες με περισσότερα αποδεδειγμένα αποθέματα πετρελαίου					
	Χώρες	Αποδ. Αποθέματα (10 ³ MMbbl)		Χώρες	Αποδ. Αποθέματα (10 ³ MMbbl)
1	Βενεζουέλα	301	6	Κουβέιτ	102
2	Σαουδική Αραβία	266	7	Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	98
3	Καναδάς	170	8	Ρωσία	80
4	Ιράν	158	9	Λιβύη	48
5	Ιράκ	143	10	Νιγηρία	37

Crude Oil Proved Reserves 2017, US Energy Information Administration (EIA) [19]

Στον πίνακα παρουσιάζονται οι δέκα χώρες με τα περισσότερα αποθέματα αργού πετρελαίου στον κόσμο. Στην ίδια λίστα το Καζακστάν βρίσκεται στη 12^η θέση με αποδεδειγμένα αποθέματα που φθάνουν 30·10³MMbbl η Αλγερία στη 16^η με 12·10³MMbbl και το Αζερμπαϊτζάν με 7·10³MMbbl στην 20^η.

Πίνακας 6: Χώρες με μεγαλύτερη Ημερήσια Παραγωγή Αργού για το 2017

Χώρες με μεγαλύτερη Ημερήσια Παραγωγή Αργού					
	Χώρες	Παραγωγή (MMbbl)		Χώρες	Παραγωγή (MMbbl)
1	Ρωσία	10,58	6	Καναδάς	3,97
2	Σαουδική Αραβία	10,13	7	Κίνα	3,83
3	ΗΠΑ	9,37	8	Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα	3,04
4	Ιράκ	4,45	9	Κουβέιτ	2,77
5	Ιράν	4,45	10	Βραζιλία	2,62

Production of Crude Oil including lease condensate 2017, US Energy Information Administration (EIA) [19]

Στην ίδια λίστα με τη μεγαλύτερη ημερήσια παραγωγή ανά χώρα το Καζακστάν βρίσκεται στη 14^η θέση με ημερήσια παραγωγή στα 1,77 MMbbl/d ,η Αλγερία στη 18^η με 1.31MMbbl/d και η Λιβύη στη 22^η με 0,82 MMbbl/d.

Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρείται μια συνάφεια μεταξύ των αποδεδειγμένων αποθεμάτων μίας χώρας και της ημερήσιας παραγωγής της σε αργού πετρελαίου. Χώρες όπως Σαουδική Αραβία, Ιράν, Ιράκ κ.α. που κατέχουν μεγάλα αποθέματα πετρελαίου τα εκμεταλλεύονται εξίσου και με τις κρατικές εταιρείες τους να κατέχουν μεγάλο μερίδιο στη παραγωγή. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της Ρωσίας η οποία, παρότι διαθέτει λιγότερα αποθέματα σε σχέση με χώρες όπως οι Βενεζουέλα, Καναδάς κα., τα αξιοποιεί σε μεγάλο βαθμό και κατατάσσεται πρώτη στη παραγωγή αργού

4.1.1 Εκτίμηση ύψους παραγωγής σε ένα κοιτάσμα πετρελαίου

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την πρόβλεψη του ύψους της παραγωγής ενός κοιτάσματος όπως οι μέθοδοι πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (Multiple Linear Regression), Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (Artificial Neural Network), και η μέθοδος Logistic Curve που έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά όσον αφορά στο περιβάλλον εφαρμογής τους και στα όρια των υπολογισμών κάθε φορά.

Αναφορικά, στο άρθρο τους οι Mustafar και Razali [20] προτείνουν τη χρήση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης για την πρόβλεψη του ύψους παραγωγής ενός κοιτάσματος στη Κίνα για τα έτη 1983-2006.

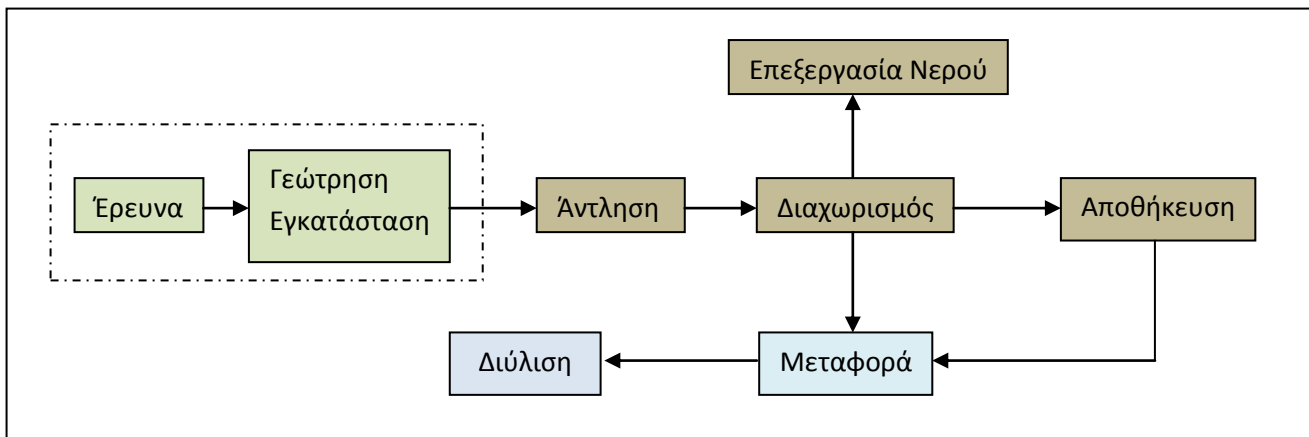
Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή του πετρελαίου σύμφωνα με την έρευνα τους είναι:

1. Ο συνολικός αριθμός των πηγαδιών
2. Ο αριθμός τους στην έναρξη της έρευνας
3. Ο αριθμός των νέων πηγαδιών που προστίθενται
4. Ο όγκος νερού που εγχύθηκε το περασμένο έτος
5. Η περιεκτικότητα του πετρελαίου σε υγρασία του προηγούμενου έτους
6. Το ποσοστό παραγωγής πετρελαίου του προηγούμενου έτους
7. Το ποσοστό ανάκτησης του προηγούμενου έτους
8. Η παραγωγή πετρελαίου του προηγούμενου έτους

Το μοντέλο αναπτύχθηκε σε περιβάλλον MATLAB εφαρμόζεται στην πραγματική παραγωγή και επιτυγχάνονται ικανοποιητικές προβλέψεις.

4.2 Ο δρόμος του αργού

Η βιομηχανία του πετρελαίου χωρίζεται σε τρεις μεγάλους τομείς δραστηριοτήτων [21]. Ο πρώτος τομέας (upstream) περιέχει τις δραστηριότητες έρευνας, γεώτρησης, εγκατάστασης και αυτές τις εξόρυξης, διαχωρισμού, επεξεργασίας νερού και αποθήκευσης, με τις τελευταίες να σηματοδοτούν το πέρας των εργασιών και την έναρξη της παραγωγής. Κατά τη φάση της εξόρυξης είναι σημαντική η έγχυση στο πηγάδι νερού ή αερίου κ.α. για τη διατήρηση των επιπέδων πίεσης και την αύξηση της παραγωγής. Ο διαχωρισμός, στη συνέχεια, είναι απαραίτητος, καθώς τα πηγάδια συχνά παράγουν ένα συνδυασμό φυσικού αερίου, πετρελαίου και νερού που περιέχει διάφορους ρύπους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους αλλά επικρατέστερες αυτών είναι βαρυτικές μέθοδοι που εκμεταλλεύονται τις διαφορές στα ειδικά τους βάρη. Μετά το διαχωρισμό το νερό οδηγείται σε μία μονάδα επεξεργασίας, ενώ το αργό είτε αποθηκεύεται είτε απευθείας μεταφέρεται μέσω αγωγών ή σε μέρη διανομής του σε πετρελαιοφόρα πλοία, τρένα και, τέλος, στο διυλιστήριο. Η μεταφορά, η διύλιση τους σε εμπορευματοποιησίμα προϊόντα και τέλος η διανομή τους στους πωλητές απαρτίζουν το δεύτερο τομέα δραστηριοτήτων (midstream). Ο τελευταίος τομέας αφορά στην τελική πώληση των προϊόντων πετρελαίου στον καταναλωτή (downstream).



Σχήμα 1: Παρουσίαση σταδίων για τη παράδοση του αργού πετρελαίου για διύλιση

4.3 Το νερό στην παραγωγή του αργού πετρελαίου

Το νερό παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Νερό απαιτεί η διαδικασία της γεώτρησης όπου 400- 4000 m³ χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία λάσπης η οποία ψύχει το τρυπάνι και απομακρύνει τα παραγόμενα κομμάτια από το σημείο διάνοιξης. Στη διαδικασία του Hydraulic Fracturing 7.500-19.000m³ νερού ανά πηγάδι εισέρχονται στη γη για τη διάνοιξη των τοιχωμάτων. Και τέλος μεγάλες ποσότητες νερού καταναλώνονται κατά τις διεργασίες βελτίωσης της ανάκτησης πετρελαίου [22].

Επίσης, μεγάλες ποσότητες υγρών αποβλήτων δημιουργούνται. Τα υγρά από τη γεώτρηση περιέχουν χημικά πρόσθετα ανάλογα τον τύπο πετρώματος, όπως αναστολείς διάβρωσης, βιοκτόνα, λιπαντικά και που τελικά επιστρέφουν στην επιφάνεια ως ρεύμα αποβλήτων, συνήθως αναφέρονται ως 'λάσπη γεώτρησης'. Υγρά από τη διαδικασία του Fracturing επιστρέφει στην επιφάνεια (10%-40%) με τη σύσταση του να αλλάζει ανάλογα με το χρόνο που έχει παραμείνει στο έδαφος. Τέλος, υγρά απόβλητα θεωρούνται και οι ποσότητες νερού που παράγονται κατά την εξόρυξη.

Από τις δραστηριότητες που αναφέρθηκαν το ενδιαφέρον στρέφεται στην παραγωγή νερού και στις διαφορετικές μεθόδους εξόρυξης του αργού, καθώς είναι αυτές που πραγματοποιούνται κατά τη συνεχή λειτουργία της εξόρυξης.

4.4. Παράγωγο νερό και η επεξεργασία του

Το παράγωγο νερό είναι νερό που απαντάται σε σχηματισμούς που περιέχουν αργό και αέριο και περιέχει κάποια από τα χημικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού από τον οποίο προέρχεται και από τους σχετικούς υδρογονάνθρακες. Αυτό μπορεί είτε να προϋπάρχει είτε μπορεί να είναι νερό που κατέληξε στο σχηματισμό από διεργασίες βελτίωσης του ύψους της παραγωγής.

Χαρακτηριστικά παράγωγου νερού
Χαμηλής συγκέντρωσης οργανική ύλη, συμπεριλαμβανομένων πτητικών ενώσεων και υδρογονανθράκων
Υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι (συνήα > 35 g / L)
Μέταλλα (π.χ., σίδηρος, μαγγάνιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, βάριο κλπ.)
Διαλυμένα αέρια (π.χ. H ₂ S)
Φυσικά ραδιενεργά υλικά (NORM)
Υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών, πετρελαίου και λιπών

Water Reuse Association [22]

Η παραγωγή νερού από ένα κοίτασμα είναι πολύ μεγάλη. Αναφορικά, για ένα κοίτασμα με ανάκτηση 40% (δευτερογενής ανάκτηση) η παραγωγή νερού φθάνει τα 4.000 m³ την ημέρα. Σε έκθεση του Veil [23] για το αμερικανικό συμβούλιο προστασίας υπεδάφους και από έρευνα που διεξήχθη σε πηγάδια σε 32 διαφορετικές Πολιτείες η αναλογία παραγωγής νερού σε σχέση με αυτή του αργού πετρελαίου μετρήθηκε κατά μέσο όρο στα 9,2 bbl νερού/bbl αργού για τα έτη 2007 και 2012 με το παράγωγο νερό να φθάνει στα 21,2Bbbl για το 2012. Η ποσότητα αυτή ποικίλει από κοίτασμα σε κοίτασμα και συνδέεται άμεσα με τη παλαιότητα του. Αυτό αναφέρεται σε 'ώριμα' κοιτάσματα στα οποία έχει μειωθεί η περιεκτικότητα τους σε αργό μετά από χρόνια εξόρυξης και όπου και σε αυτά υπάρχει αύξηση στη φυσική παραγωγή νερού.

Οι εταιρείες επιλέγουν την επεξεργασία ή μη του παράγωγου νερού πριν την τελική διάθεση του. Κατά την επεξεργασία του χρησιμοποιούνται κυρίως μηχανικές μέθοδοι διαχωρισμού, όπως, για παράδειγμα, ο φυγοκεντρικός διαχωρισμός σε υδροκυκλώνα, οι οποίες δεν συμμετέχουν σημαντικά στην κατανάλωση νερού. Στη συνέχεια, το νερό είτε αποβάλλεται στη θάλασσα είτε εισάγεται σε σχηματισμούς κα [21].

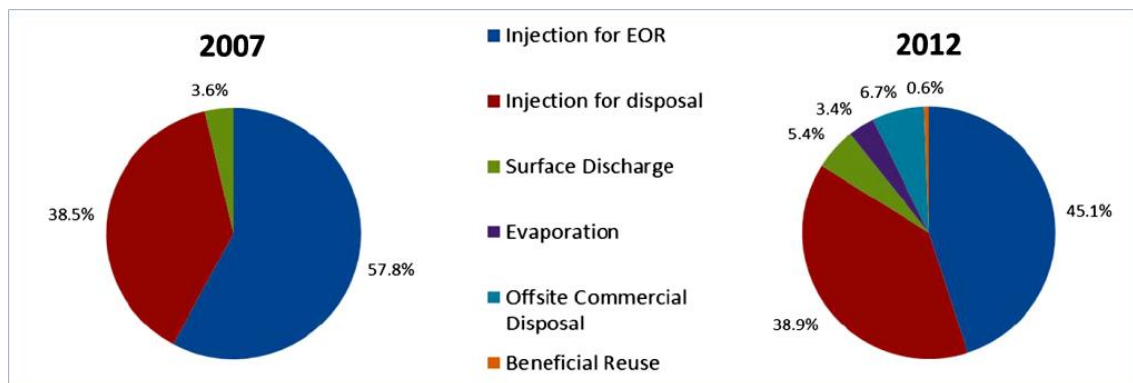
Επιλογές διαχείρισης
Λίμνες εξάτμισης
Απόθεση με έγχυση σε βαθιά πηγάδια
Επεξεργασία και απόρριψη σε επιφανειακές οδούς
Επανάχρηση

Water Reuse Association [22]

Η ποσότητα του παράγωγου νερού που αποβάλλεται χωρίς επεξεργασία συμμετέχει σημαντικά στη γκρι συνιστώσα του ΥΑ, ενώ η οποιαδήποτε επανάχρηση νερού θα μείωνε την μπλε. Για παράδειγμα, στη Σαουδική Αραβία που ο δεύτερος μεγαλύτερος καταναλωτής νερού της χώρας μετά τον αγροτικό τομέα είναι η παραγωγή υδρογονανθράκων [24] στο κοίτασμα Qatif [25] γίνεται εισαγωγή καθημερινά 650 10⁶ βαρελιών

νερού ξανά στο σχηματισμό, το οποίο μειώνει την μπλε συνιστώσα κατά $0,13\text{m}^3/\text{bbl}$, ποσό μεγάλο, αν το συγκρίνει κανείς με τις καταναλώσεις που παρουσιάζουν οι Wu et [26] στη περιοχή ύψους $0,22 - 0,77 \text{ m}^3/\text{bbl}$.

Στην έκθεση του Veil, που προαναφέρθηκε, παρουσιάζεται η σύνοψη διαχείρισης του παράγωγου νερού για τα έτη 2007 και 2012. Συγκεκριμένα για το 2012 το 45% του παράγωγου νερού χρησιμοποιήθηκε για εισαγωγή ξανά στο πηγάδι εξόρυξης για βελτίωση της ανάκτησης και μόλις το 0,6% χρησιμοποιήθηκε σε άλλες δραστηριότητες. Το 39% εισήχθη σε σχηματισμούς, ενώ το 5,4% αποτέθηκε σε επιφανειακές οδούς.



Εικόνα 3: Διαχείριση παράγωγου νερού σε 32 Πολιτείες των ΗΠΑ για τα έτη 2007 και 2012

4.5 Μέθοδοι εξόρυξης αργού και Υδατικό Αποτύπωμα

Ο τρόπος εξόρυξης του πετρελαίου παρουσιάζει μεγάλες διαφορές από κοίτασμα σε κοίτασμα. Το γεγονός αυτό δεν οφείλεται μόνο στην πρόσβαση που έχει κάθε παράγουσα εταιρεία στην εκάστοτε τεχνολογία, αλλά στο ότι είναι επιτακτική η χρήση συγκεκριμένων μεθόδων για τη διατήρηση της παραγωγής. Οι μέθοδοι διακρίνονται από τις διαφορετικές βαθμίδες πίεσης που δημιουργούν μέσα στο κοίτασμα.

Ο πρώτος τρόπος εξόρυξης ονομάζεται πρωτογενής ανάκτηση (Primary Recovery) και αφορά σε κοιτάσματα 'νεαρά' όπου η πίεση είναι τόσο μεγάλη που η ροή προς τα έξω είναι φυσική [27].

Στη συνέχεια, όσο εξαντλείται το κοίτασμα είναι απαραίτητη η εισαγωγή στο σχηματισμό νερού (waterflooding) για τη διατήρηση της πίεσης άλλα και ανύψωση του πετρελαίου πιο κοντά στη επιφάνεια. Ο τρόπος αυτός ανάκτησης ονομάζεται δευτερογενής (Secondary Recovery), επιτυγχάνει καλές ανακτήσεις από 20-40% με υψηλούς ρυθμούς παραγωγής και είναι ο πιο συνήθης τρόπος εξόρυξης. Στα θαλάσσια κοιτάσματα προτιμάται λόγω της αφθονίας, θαλασσινό νερό για την εισαγωγή [28]. Μία άλλη παραλλαγή δευτερογενούς ανάκτησης είναι και η εισαγωγή στο σχηματισμό φυσικού αερίου.

Καθώς το κοίτασμα ωριμάζει, για να μπορέσει να βγει το πετρέλαιο στην επιφάνεια, είναι απαραίτητη η μείωση του ιξώδους του. Αυτό επιτυγχάνεται με Βελτιωμένες Μεθόδους Ανάκτησης (BMA ή EOR). Αυτού του τύπου η ανάκτηση παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία ως προς τη μέθοδο και κατ' επέκταση την ποσότητα νερού που απαιτεί, αλλά και ως προς το ποσοστό ανάκτησης που επιτυγχάνεται κάθε φορά. Αναφορικά με μία μέθοδο EOR η ανάκτηση μπορεί να φθάσει μέχρι και το 70%.

Οι Gerbers Leenes et al [29] παρουσιάζουν σε μία συγκριτική μελέτη τα ΥΑ των κυρίαρχων φορέων ενέργειας. Συγκεκριμένα, η σύγκριση αυτή αναφέρεται σε πρωτογενή παραγωγή ενέργειας και αφορά στις αποδόσεις κατά το πρώτο βήμα της παραγωγικής αλυσίδας δραστηριοτήτων και διεργασιών για την παραγωγή τους: αργό

πετρέλαιο, άνθρακα, φυσικό αέριο, ουράνιο, υδροηλεκτρική ενέργεια και ηλεκτροπαραγωγή από αιολική, ηλιακή ενέργεια και βιομάζα.

Για την παρουσίαση των ΥΑ, η έκθεση συνόψισε το μεγαλύτερο ΥΑ ανά διεργασία ανά φορέα ενέργειας. Οι υπολογισμοί του Υδατικού αποτυπώματος βασίστηκαν στη μεθοδολογία των Hoekstra και Charagain, ενώ τα στοιχεία για το κάθε μη ανανεώσιμο φορέα προήλθαν από τον Gleick [30]. Με αυτόν τον τρόπο, η έκθεση πιθανώς υπερεκτίμησε το ΥΑ των μη ανανεώσιμων φορέων πρωτογενούς ενέργειας, καθώς τα δεδομένα τους αφορούσαν καταναλώσεις στις οποίες δε γίνεται καμία επανάχρηση του πόρου. Από την άλλη πλευρά, οι συγγραφείς τονίζουν πως η επανάχρηση δημιουργεί ρύπανση μεγάλων ποσοτήτων νερού, έτσι ώστε ο όγκος ρύπανσης (γκρι συνιστώσα) να υποτιμηθεί.

Στον πίνακα 7 που ακολουθεί παρουσιάζονται ΥΑ που αποδίδονται σε όλα τα στάδια παραγωγής του αργού πετρελαίου όπως παρουσίασαν στην έκθεσή τους οι Gerbers-Leenes et .

Πίνακας 7: Παρουσίαση Υδατικών Αποτυπωμάτων για το αργό πετρέλαιο

Υδατικό αποτύπωμα για το αργό πετρέλαιο		
	ΥΑ (m ³ /GJ)	ΥΑ (m ³ /bbl)
Χερσαία έρευνα για κοιτάσματα	0	0,00
Πρωτογενής χερσαία εξόρυξη και παραγωγή αργού	0,006	0,04
Δευτερογενής πλημμύριση με νερό (waterflooding)	0,6	3,75
Βελτιωμένες Μέθοδοι Εξόρυξης (EOR)	0,12	0,75
EOR Έγχυση Ατμού	0,14	0,88
EOR Προωθημένη καύση/Έγχυση Αερίου	0,05	0,31
EOR Έγχυση μικυλλιακού πολυμερούς	8,9	55,63
EOR Καυστική Έγχυση	0,1	0,63
EOR Έγχυση CO ₂	0,64	4,00
Διύλιση πετρελαίου	0,045	0,28
Διύλιση πετρελαίου (reforming and hydrogenation)	0,09	0,56
Άλλες διεργασίες εργοστασίου	0,07	0,44
Συνολικός (μέσος όρος)	1,058	6,61

P.W.Gerber Leenes et. Water Footprint of Bio-energy and other primary energy carriers [29]

Από τον πίνακα συμπεραίνεται ότι το ΥΑ ποικίλει πολύ ανά μέθοδο που χρησιμοποιείται την εξόρυξη. Ξεχωρίζει η ΒΜΑ με έγχυση μικυλλιακού πολυμερούς με το μεγαλύτερο ΥΑ και η SR με waterflooding με ΥΑ στο 3,75 m³/bbl.

Ακόμα, πληροφορίες για το ΥΑ έχουν παρθεί από το άρθρο των Carmona et. [31], όπου υπολογίζεται το ΥΑ της εξόρυξης βαριού αργού με τρεις διαφορετικές μεθόδους εξόρυξης στην Κολομβία. Οι δύο είναι μέθοδοι τριτογενούς ή αλλιώς ενισχυμένης ανάκτησης (EOR), όπου η ανάκτηση πραγματοποιείται μέσω χρήσης κυκλικής διέγερσης των κοιτασμάτων με ατμό (Cyclic Steam Stimulation), ενώ η τρίτη μέθοδος είναι δευτερογενής (SR), όπου γίνεται πλημμύριση με νερό. Στα τρία αυτά κοιτάσματα όπου χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι αυτοί το ΥΑ υπολογίστηκε για το έτος 2012 ως 0.23 m³/bbl και 0.21 m³/bbl για τα (EOR) και 0,19 m³/bbl για το κοιτάσμα με τη δευτερογενή ανάκτηση (SR).

Οι μετρήσεις των Carmona όπως αναφέρθηκε αφορούν σε βαρύ τύπο πετρελαίου, ο οποίος απαιτεί μεγαλύτερες καταναλώσεις από τον ελαφρύ. Ακόμα, σχολιάζουν ότι οι διεργασίες τους απαιτούν ενέργεια, η οποία παράγεται υδροηλεκτρικά και αυξάνει πολύ την μπλε συνιστώσα του αποτυπώματος που υπολόγισαν. Παρόλα αυτά, η τιμή έρχεται σε αντιδιαστολή με τον πίνακα 7 και δημιουργεί ερωτήματα για την υποτίμηση

της συνεισφοράς της επανάχρησης στο συνολικό αποτύπωμα και στο κατά πόσο τα δεδομένα του Gleick που μετρήθηκαν το 1994 με το συγκεκριμένο τεχνολογικό καθεστώς μπορούν να είναι αντιπροσωπευτικά σήμερα.

4.6 Σύγκριση Υδατικού Αποτυπώματος διάφορων φορέων ενεργειών

Οι Gerber-Leenes et. [29] στο άρθρο τους παρουσιάζουν συγκεντρωτικά το Υδατικό Αποτύπωμα διάφορων φορέων ενέργειας και παρατίθενται στον πίνακα 8.

Πίνακας 8: Υδατικό αποτύπωμα για διαφορετικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας

Υδατικό αποτύπωμα και ενέργεια	ΥΑ (m ³ /GJ)
Άνθρακας	0,004
Αργό Πετρέλαιο	1,058
Ουράνιο	0,086
Φυσικό αέριο	0,109
Υδροηλεκτρική	22,3
Αιολική	0
Ηλιακή	0,265
Βιομάζα	71,54

P.W.Gerber Leenes et. Water Footprint of Bio-energy and other primary energy carriers [29]

Στον πίνακα φαίνεται πως δεν μπορεί να γίνει σαφής συσχέτιση μεταξύ ανανεώσιμων τρόπων παραγωγής ενεργείας και ΥΑ. Η αιολική με μηδενική, ο άνθρακας και η πυρηνική παρουσιάζουν τα μικρότερα ΥΑ αποτυπώματα. Η υδροηλεκτρική παρουσιάζει το υψηλότερο, γεγονός λογικό καθώς είναι ένας τρόπος παραγωγής ενέργειας ο οποίος βασίζεται στην κατανάλωση νερού και παρουσιάζει μικρή σχετικά απόδοση, με αποτέλεσμα η μπλε συνιστώσα να έχει υψηλή τιμή.

Ακόμα, ενέργειες που σε άλλους τομείς, όπως από τη σκοπιά των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, θεωρούνται καθαρές και ενισχύονται, όπως η υδροηλεκτρική και η βιομάζα, όταν κανείς τις μελετά από τη σκοπιά του νερού παρατηρεί ότι δεν είναι η βέλτιστη καθολική λύση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα νούμερα που παρουσιάζονται αποτελούν ένα μέσο όρο για τη κάθε δραστηριότητα ή όπως στην περίπτωση του αργού πετρελαίου, όπου δεν συνυπολογίζεται οποιαδήποτε επανάχρηση, αυτό συμβαίνει και στον υπολογισμό των υπόλοιπων μη ανανεώσιμων φορέων.

Έτσι, είναι πιθανό να παρουσιαστούν μεγάλες αλλαγές και διακυμάνσεις στο τελικό αποτέλεσμα, ενώ υπάρχουν πολλοί βαθμοί ελευθερίας, αν κανείς κληθεί να υπολογίσει το ΥΑ. Έτσι, δεν είναι δυνατή η σύγκριση ΥΑ, όπως του αργού και του φυσικού αερίου, μιας και το ΥΑ του αργού παρουσιάζει μεγάλες αλλαγές με την κάθε μέθοδο εξόρυξης, ενώ το ΥΑ του φυσικού αερίου που παρουσιάζεται στον πίνακα, υπολογίζεται από διεργασίες μετά το διαχωρισμό τους από το αργό ή από κοιτάσματα που περιέχουν μόνο αυτό.

5. Οι Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Ασπροπύργου των ΕΛΠΕ

Τα Ελληνικά Πετρέλαια [32] είναι ένας όμιλος που ιδρύθηκε το 1998. Δραστηριοποιείται στον τομέα της ενέργειας σε 6 διαφορετικές χώρες (Ελλάδα, Κύπρος, Βουλγαρία, Σερβία, Μαυροβούνιο και Π.Γ.Δ.Μ). Ο τομέας της διύλισης αποτελεί το 75% του συνόλου του ενεργητικού του ομίλου. Άλλες δραστηριότητες αποτελούν η εμπορία και πώληση υγραερίου, βιομηχανικών, αεροπορικών και ναυτιλιακών καυσίμων, παραγωγή ενέργειας κ.α.

Τα ΕΛΠΕ διαθέτουν 3 διυλιστήρια με υψηλό βαθμό συνθετότητας στις περιοχές του Ασπροπύργου, Ελευσίνας και Θεσσαλονίκης συνολικής χωρητικότητας $6,65 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ και καλύπτουν το 65% της διυλιστικής δραστηριότητας της χώρας με την παραγωγή τους να φθάνει για το έτος 2016 στους 14,84 ΜΜΤ.

5.1 Οι Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Ασπροπύργου

Οι Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις του Ασπροπύργου των ΕΛΠΕ αποτέλεσαν το πρώτο διυλιστήριο πετρελαίου στον ελλαδικό χώρο το 1958 [33]. Σήμερα είναι ένα σύνθετο διυλιστήριο τύπου FCC με ημερήσια δυναμικότητα διύλισης $148 \cdot 10^3$ BPSD, το οποίο διαθέτει σημαντικό αριθμό μονάδων. Οι μονάδες αυτές περιλαμβάνουν μονάδα καταλυτικής πυρόλυσης (FCC), απόσταξης υπό κενό, ισομερισμού και αναμόρφωσης (CCR), υδρογονοδιάσπασης/υδρογονοαποθείωσης VGO και ιξωδόλυσης για την αναβάθμιση των υπολειμμάτων ατμοσφαιρικής απόσταξης. Το διυλιστήριο, ακόμα, περιλαμβάνει ιδιόκτητο λιμάνι και δίκτυο αγωγών αργού για τη σύνδεση του με την εγκατάσταση παραλαβής και αποθήκευσης αργού στη Πάχη Μεγάρων.

Κύρια εμπορεύσιμα προϊόντα των ΒΕΑ αποτελούν τα: υγραέρια, βενζίνες, καύσιμα αεροπορίας, Diesel, μαζούτ, άσφαλτος και θείο. Το διυλιστήριο έχει μεγάλη ευελιξία ως προς την παραγωγή, αποθήκευση και διανομή των προϊόντων αυτών. Για παράδειγμα, η παραγωγή βενζίνης ή ντίζελ μπορεί να μεταβληθεί και να μεγιστοποιηθεί ανάλογα με τις τάσεις της αγοράς. Και αξίζει να σημειωθεί ότι έχει την κύρια ευθύνη παροχής αεροπορικού καυσίμου στο Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών 'Ελευθέριος Βενιζέλος'.

Τέλος, οι ΒΕΑ συμμορφώνονται με την πιο πρόσφατη περιβαλλοντική νομοθεσία (ΒΔΤ) και με τις απαιτήσεις Ασφαλείας σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

5.2 Ετήσιες Προμήθειες στις ΒΕΑ

Οι προμηθευτές των Ελληνικών Πετρελαίων επιλέγονται και αξιολογούνται με στόχο τη βελτίωση της συνολικής τους επίδοσης σε θέματα βιώσιμης ανάπτυξης. Συνεχίζεται η προσπάθεια ενσωμάτωσης στις νέες συμβάσεις προμηθειών, προμηθευτών που συμμορφώνονται με τις αρχές του Οικονομικού Συμφώνου του ΟΗΕ, ένα σύμφωνο που αφορά στους τομείς των ανθρωπίνων δικαιωμάτων, της εργασίας, του περιβάλλοντος και κατά της διαφθοράς. [32]. Από την εταιρεία δόθηκε πρόσβαση σε δεδομένα που αφορούν σε προμήθειες για τα έτη 2014, 2015 και 2016.

Πίνακας 9:Ετήσια Κατεργασία Αργού και άλλων Α' Υλών από τις ΒΕΑ

Ετήσια Κατεργασία	2014		2015		2016	
	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό %	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό %	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό %
Συνολικές α' Υλες	1.591.807.191	20,67	1.650.445.774	23,84	2.069.557.801	23,43
Συνολικό Αργό	6.110.851.425	79,33	5.271.277.337	76,16	6.763.587.379	76,57
Σύνολο Κατεργασίας	7.702.658.616	100,00	6.921.723.111	100,00	8.833.145.180	100,00

Τα ΕΛΠΕ προμηθεύονται αργό πετρέλαιο ποικιλία άλλων α' υλών όπως απόσταγμα κενού, φυσικό αέριο, μεθανόλη, νάφθα κ.α. Στις ποσότητες που κατεργάζονται οι ΒΕΑ κυριαρχεί το αργό πετρέλαιο με ποσοστά από 76-79% ετησίως. Οι λοιπές πρώτες ύλες αποτελούν το 20-24% της ετήσιας κατεργασίας των ΒΕΑ και προέρχονται από τις Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις της Ελευσίνας και Θεσσαλονίκης είτε από εξωτερικούς προμηθευτές. Η κάθε μία από αυτές είτε θα είναι σε μικρές ποσότητες σε σχέση με την προμήθεια αργού είτε η παραγωγή τους θα απαιτεί πολύ λιγότερη κατανάλωση νερού, με αποτέλεσμα να τίθενται εκτός πεδίου έρευνας αυτής της εργασίας. Αναλυτικότερα οι ποσότητες και είδη των ποσοτήτων που κατεργάζονται παρουσιάζονται στο Παράρτημα Ι.

Πίνακας 10: Χώρες προέλευσης αργών που προμηθεύονται η ΒΕΑ

Προμήθειες αργού στις ΒΕΑ			
Χώρες Προμήθειας Αργών	Τύποι Αργού	Προμηθευτής	Ποσοστό για 2016 (%)
Αζερμπαϊτζάν	Azeri Light	-	-
Αίγυπτος	Ras Gharib, Western Desert, Qarun	EGPC	18,39
Αλγερία*	Sahara Blend	Sonatrach	-
Ιράν	Iranian Heavy, Iranian Light	NIOC	17,87
Ιράκ	Basrah, Basrah Heavy, Kirkur	SOMO	19,04
Καζακστάν	Kumkol, CPC Blend, Tengiz	KazMunayGas	14,88
Κολομβία	Vasconia	-	0,28
Λιβύη	Sarir, Al Jurf, Bouri	NOC	3,04
Σαουδική Αραβία	Arabian Light	Saudi Aramco	1,95
Ρωσία	Siberian Light, Ural	Rosneft	24,54

Κύριες χώρες που προμηθεύουν τα ΕΛΠΕ με αργό πετρέλαιο αποτελούν η Ρωσία (25%), το Ιράκ (20%), η Αίγυπτος(19%), το Ιράν (18%), το Καζακστάν (15%) κ.α. Παρότι τα ποσοστά αυτά αφορούν στο έτος 2016, τα δύο προηγούμενα έτη το μίγμα των προμηθειών του των ΒΕΑ παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις, καθώς οι περισσότερες προμήθειες αργού πετρελαίου καλύπτονται μέσω συμβάσεων διαρκείας. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τύποι αργού που κατεργάζονται οι ΒΕΑ και η αντιστοιχισή τους στις εκάστοτε χώρες προμήθειας.

5.3 Τα έτη μελέτης για τις ΒΕΑ

Η παρούσα εργασία αφορά στα έτη 2014, 2015 και 2016 λειτουργίας του διυλιστηρίου του Ασπροπύργου. Το έτος 2014 θεωρείται μία αντιπροσωπευτική χρονιά λειτουργίας του, ενώ το έτος 2015 υπήρχε γενικό σταμάτημα των εργασιών (general shutdown) το οποίο διήρκησε 50 ημέρες. Το σταμάτημα αυτό είναι ένας τρόπος για την επισκευή, συντήρηση ή και αναβάθμιση των εγκαταστάσεων που επαναλαμβάνεται κάθε 5 έτη. Ως αποτέλεσμα αυτού, το έτος 2016, έτος κατά το οποίο δεν υπήρχε καμία διακοπή, να περιγράφεται ως νέο ξεκίνημα του διυλιστηρίου και να μη μπορεί να γίνει καμία σύγκριση των τριών ετών όσον αφορά στη λειτουργία και τις επιδόσεις των ΒΕΑ σε όρους παραγωγής.

Παρότι το γεγονός αυτό, θα έλεγε κανείς, ότι αφορά μόνο στον υπολογισμό του λειτουργικού Αποτυπώματος, η διάκριση αυτή μεταφέρεται και στο ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας, όταν αυτό εκφράζεται σε μονάδες όγκου, μιας που και τα δύο προηγούμενα έτη παρουσιάζουν λιγότερες ποσότητες κατεργασμένου αργού σε σχέση με το 2016. Από τη μία, το 2015 η μικρότερη ποσότητα δικαιολογείται μέσω του σταματήματος των εργασιών, ενώ, το 2016 αφορά σε μονάδες με βελτιώσεις, νέες δυναμικότητες και αποδόσεις που επιτρέπουν την κατεργασία περισσότερων ποσοτήτων αργού πετρελαίου σε σχέση με το 2014.

Πίνακας 11: Κατεργασία Αργού από τις ΒΕΑ για τα έτη 2014-2016

	2014	2015	2016
Ετήσια Κατεργασία Αργού Πετρελαίου			kg
	Ποσότητα	Ποσότητα	Ποσότητα
Αργό Πετρέλαιο	6.110.851.425	5.271.277.337	6.763.587.379

Για να μπορέσει να γίνει εκτίμηση της μεταβολής του ΥΑ ανά έτος αναγκαία κρίνεται αναγωγή του σε προμηθευόμενες ποσότητες αργού και παρουσιάζεται στην παράγραφο §6.4.

6. Υπολογισμοί και Αποτελέσματα

6.1 Διακριτός υπολογισμός Υδατικών Αποτυπωμάτων

Καθώς ήταν αδύνατη η πλήρης αποτύπωση της αλυσίδας, στην παρούσα εργασία οι υπολογισμοί στράφηκαν στην προμήθεια του αργού πετρελαίου και δε συμπεριλήφθηκαν τα ΥΑ από την προμήθεια άλλων πρώτων υλών.

Αρχικά, για τον υπολογισμό των ΥΑ των προϊόντων που προμηθεύεται το διυλιστήριο αναζητήθηκαν δεδομένα ύψους παραγωγής του εκάστοτε αργού, αλλά και συνολικής από την κάθε εταιρεία, για να εισαχθούν στην εξίσωση 8 της παραγράφου §3.1.3, όπου αντί για αναλογία οικονομικής αξίας του προϊόντος προς την αξία όλων της εκάστοτε εταιρείας χρησιμοποιήθηκε η αναλογία μαζών ή ενεργειακού περιεχομένου. Σε περιπτώσεις που οι μάζες δεν ήταν γνωστές χρησιμοποιήθηκαν οι όγκοι θεωρώντας ότι η αναλογία είναι η ίδια.

$$WF_{prod}[p] = \frac{M[p]}{\sum_p M[p]} \times \frac{WF_{bus}}{P[p]} \quad 3.1.3 \quad (8)$$

Για τις εταιρείες που δεν υπήρχε πρόσβαση σε καμία αξιοποιήσιμη πληροφορία τα δεδομένα αυτά αναζητήθηκαν σε συνεργάτες των εταιρειών και στη συνέχεια αποδόθηκαν στις ίδιες και στα αργά που προμηθεύουν.

Ακολούθησε ο προσδιορισμός του ΥΑ της κάθε εταιρείας με τη διαδικασία που περιγράφεται στο κεφάλαιο §3.1.

Συγκεκριμένα, για τον υπολογισμό της μπλε συνιστώσας του ΥΑ αναζητήθηκαν δεδομένα είτε κατανάλωσης νερού είτε απολήψεων από κάθε εταιρεία με προσοχή κάθε φορά, όπου τα δεδομένα το επέτρεπαν, να αφαιρούνται οι επαναχρήσεις και ανακυκλώσεις. Ο υπολογισμός έγινε βάσει της σχέσης 1 της παραγράφου §2.1.1 με τις ποσότητες που καταμετρούνται να αφορούν τον όρο Lost Return Flow.

$$WF_{blue} = BlueWaterEvaporation + BlueWaterIncorporation + LostReturnFlow \quad §2.1.1 \quad (1)$$

Η γκρι συνιστώσα του ΥΑ των αργών υπολογίστηκε από τη σχέση 5 της παραγράφου §3.1.2, καθώς δεν υπήρχαν δεδομένα για τις φυσικές συγκεντρώσεις του εκάστοτε ρύπου στο υδατικό σώμα όπου αποτέθηκαν τα υγρά απόβλητα της κάθε εταιρείας.

$$WF_{grey} = \frac{Effl \times C_{effl}}{C_{max}} \quad §3.1.2 \quad (5)$$

Καθώς δεν υπήρχαν δεδομένα φορτίου των ρύπων των υγρών αποβλήτων της κάθε εταιρείας, έγινε η παραδοχή ότι ο κάθε ρύπος που αποβάλλεται ταυτίζεται ή υπερβαίνει το περιβαλλοντικό όριο συγκεντρώσεων της κάθε περιοχής ($C_{effl} > C_{max}$), δηλαδή ότι το κρίσιμο φορτίο ρύπων υπερβαίνεται. Με τον τρόπο αυτό, αναζητήθηκαν δεδομένα υγρών αποβλήτων από την εκάστοτε εταιρεία και ταυτίστηκαν με τη γκρι συνιστώσα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η υπερεκτίμηση της γκρι συνιστώσας αν $C_{effl} < C_{max}$ και υποτίμησης της, αν συμβαίνει το αντίθετο.

Υγρά απόβλητα τα οποία η εταιρεία ανέφερε ότι έχουν υποστεί επεξεργασία πριν την απόθεση θεωρήθηκαν ότι διαθέτουν μηδενική γκρι συνιστώσα και δεν συνυπολογίστηκαν.

Τέλος, στην παρούσα εργασία, δεν έγινε υπολογισμός της πράσινης συνιστώσας του ΥΑ και το σύνολο των δεδομένων δεν επέτρεπαν το διαχωρισμό μεταξύ έμμεσων και άμεσων καταναλώσεων, οπότε τα ΥΑ αφορούν και στις δυο.

Το ΥΑ της εφοδιαστικής της κάθε εταιρείας δεν υπολογίστηκε.

Στους υπολογισμούς που ακολουθούν έχουν γίνει οι εξής παραπάνω παραδοχές:

i. Τα αργά της εκάστοτε χώρας αντλούνται με την ίδια μέθοδο εξόρυξης.

Παρότι οι διαφορές στις καταναλώσεις του νερού διαφέρουν κατά πολύ ανάλογα με τη μέθοδο με την οποία γίνεται η εξόρυξη του πετρελαίου (§4.4) λόγω αδυναμίας προσδιορισμού συγκεκριμένης μεθόδου ανά κοίτασμα εξόρυξης, μιας που οι τεχνολογίες αυτές αποτελούν πολλές φορές επαγγελματικά μυστικά, θεωρήθηκε ότι η κάθε χώρα ή εταιρεία αντλεί με τον ίδιο τρόπο τους διαφορετικούς τύπους αργού.

ii. Αργά βαριών και ελαφρών τύπων απαιτούν ίδιες καταναλώσεις νερού.

Καθώς τα δεδομένα νερού που παρουσιάζει η κάθε χώρα δε παρατίθενται ξεχωριστά για το εκάστοτε κοίτασμα και κατ' επέκταση τύπου αργού που αντλείται από εκεί και, παρόλο που τα βαριά (ως προς το ειδικό βάρος API) αργά απαιτούν περισσότερο νερό για να αντληθούν, κρίνεται απαραίτητη αυτή η παραδοχή για τους υπολογισμούς.

iii. Όλη η χώρα που εξετάζεται παράγει έναν τύπο αργού.

Στις περιπτώσεις εφαρμογής της τρίτης παραδοχής λόγω έλλειψης δεδομένων που να αφορούν ξεχωριστά το κάθε αργό ισχύουν και υπονοούνται και οι παραδοχές (i) και (ii.).

6.1.1 Υπολογισμοί για τα αργά Siberian Light και Ural- εταιρεία ROSNEFT

Η ρώσικη εταιρεία Rosneft προμηθεύει τα Ελληνικά Πετρέλαια με δύο τύπους αργών, το Siberian Light και το Ural.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ποσότητες των αργών που προμηθεύτηκε το διυλιστήριο Ασπροπύργου για τα έτη 2014-2017 και το ποσοστό συμμετοχής τους στις ετήσιες προμήθειες αργού του διυλιστηρίου.

Πίνακας 12: Προμήθεια αργών της Rosneft στις ΒΕΑ

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό %	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό %	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό %
Siberian Light	337.825.215	5,53	193.188.293	3,67	144.21.531	2,13
Ural	2.277.232.685	3,3	1.675.630.912	31,79	1.515.444.056	22,41

Από τους ετήσιους απολογισμούς της εταιρείας για τα έτη 2014-2017 [34] πάρθηκαν δεδομένα για το ύψος της συνολικής παραγωγής πετρελαίου και συμπυκνωμάτων και τι ποσοστό αυτής αποδίδεται στις περιοχές παραγωγής του εκάστοτε αργού. Επιλέχθηκε πως η περιοχή West Siberia είναι υπεύθυνη για την παραγωγή του αργού Siberian Light και η περιοχή Ural για το αργό Ural. Συγκεκριμένα, τα στοιχεία που περιέχονται για τα έτη 2015-2017 αφορούν στο ύψος παραγωγής αργού σε όλη τη χώρα και η συμμετοχή της εταιρείας στο μίγμα παραγωγής της Ρωσίας, ενώ για το έτος 2014 δόθηκε η ακριβής ποσότητα για την εταιρεία ύψους 205 MMT. Έχοντας δεδομένα είτε για το ποσοστό συμμετοχής της εκάστοτε περιοχής είτε την ακριβή ποσότητα παραγωγής της ανά έτος μεταφέρεται και ταυτίζεται το ποσοστό αυτό στα δεδομένα του νερού για τον υπολογισμό του αποτυπώματος του κάθε αργού.

Πίνακας 13: Συμμετοχή Rosneft στη παραγωγή αργού της Ρωσίας για τα έτη 2015, 2016 και 2017

	2015		2016		2017	
	Παραγωγή Αργού (MMT)	Συμμετοχή	Παραγωγή Αργού (MMT)	Συμμετοχή	Παραγωγή Αργού (MMT)	Συμμετοχή
Ρωσία	534,20	1,00	547,2	1,00	546,80	1,00
Rosneft	203,00	0,38	218,88	0,40	224,19	0,41

Πίνακας 14: Ετήσιες ποσότητες που παράχθηκαν από την εταιρεία

	2014		2015		2016		2017	
	Παραγωγή Αργού (MMT)	Συμμετοχή	Παραγωγή Αργού (MMT)	Συμμετοχή	Παραγωγή Αργού (MMT)	Συμμετοχή	Παραγωγή Αργού (MMT)	Συμμετοχή
Rosneft	205,00	1,00	203,00	1,00	218,88	1,00	224,19	1,00
Siberian Light	120,95	0,59	18,27	0,09	20,76	0,09	21,53	0,10
Ural	34,85	0,17	113,68	0,56	121,60	0,56	124,15	0,55

Στη συνέχεια, από τις ετήσιες εκθέσεις βιωσιμότητας της εταιρείας για τα ίδια έτη εξήχθησαν στοιχεία για τις καταναλώσεις νερού της εταιρείας όπου έγινε επιλογή στοιχείων που αφορούσαν μόνο τους τομείς της εξόρυξης και διανομής του πετρελαίου όπου αυτό ήταν δυνατό. Χρησιμοποιώντας τις αναλογίες επί του συνόλου της παραγωγής για τα αργά Ural και Siberian Light αποδόθηκαν τα κυβικά νερού που καταναλώθηκαν από το καθένα, θεωρώντας ότι και τα δύο απαιτούν τις ίδιες καταναλώσεις και μεταχείριση. Η θεώρηση αυτή συμπεριλαμβάνει τις παροχές (i) και (ii).

Τα δεδομένα που παραθέτει η εταιρεία [35] που αφορούν σε καταναλώσεις νερού, προμήθεια νερού ανά πηγή άντλησης και αποθέσεις νερών μετά το πέρας των εργασιών ανά τομέα δραστηριότητας.

Η μπλε συνιστώσα του Υδατικού Αποτυπώματος βασίζεται στα δεδομένα των καταναλώσεων. Στην περίπτωση της εταιρείας αυτής, η συνολική κατανάλωση που δινόταν και αφορούσε στον τομέα της παραγωγής είχε προσμετρήσει και την κατανάλωση παράγωγου νερού. Γνωρίζοντας την ποσότητα που αντλήθηκε και το ποσό επαναχρησιμοποίησής του αφαιρέθηκε από την κατανάλωση, μιας που η ανακύκλωση μέσα στην ίδια διεργασία δεν προσμετράται στον υπολογισμό του υδατικού αποτυπώματος.

Πίνακας 15: Κατανάλωση νερού Rosneft για τα έτη 2014 και 2015

	2014			2015		
	Ποσότητα	Ural	Siberian	Ποσότητα	Ural	Siberian
Ετήσια κατανάλωση νερού	10^6 m^3					
Παραγωγή αργού με παράγωγο	1411,00	239,87	832,49	1642,6	919,86	147,83
Υπηρεσίες στα πηγάδια	1,30	0,22	0,77	2,40	1,34	0,22
Διανομή και πωλήσεις	3,00	0,51	1,77	2,30	1,29	0,21
Παραγωγή αργού χωρίς παράγωγο	188,36	32,02	111,13	190,40	106,62	17,14

Πίνακας 16: Κατανάλωση νερού Rosneft για τα έτη 2016 και 2017

	2016			2017		
	Ποσότητα	Ural	Siberian	Ποσότητα	Ural	Siberian
Ετήσια κατανάλωση νερού	10^6 m^3					
Παραγωγή αργού με παράγωγο	1583	879,89	150,22	1782,6	987,15	171,15
Υπηρεσίες στα πηγάδια	3,40	1,89	0,32	5,40	2,99	0,52
Διανομή και πωλήσεις	2,20	1,22	0,21	2,00	1,11	0,19
Παραγωγή αργού χωρίς παράγωγο	201,16	111,76	19,08	242,00	134,01	23,24

Αναφορικά η παραγωγή νερού της εταιρείας για τα έτη 2014-2017 ήταν 1310,7 για το 2014 $1563,4\text{Mm}^3$, για το 2015 $1482,5\text{Mm}^3$ για το 2016 και $1659,81\text{Mm}^3$ για το 2017.

Η γκρι βασίζεται στα δεδομένα υγρών αποβλήτων συμπεριλαμβανομένου του ποσού παράγωγου νερού που δεν χρησιμοποιήθηκε από την εταιρεία, αλλά αποτέθηκε σε σχηματισμούς του εδάφους και στο υπέδαφος.

Πίνακας 17: Αποθέσεις νερού Rosneft για τα έτη 2014-2015

	2014			2015		
	Ποσότητα	Ural	Sib.	Ποσότητα	Ural	Siberian
Διαχείριση λυμάτων	10^6 m^3					
Εγκαταστάσεων (domestic)	92,84	15,78	54,77	71,91	40,27	6,47
Σε επιφανειακές οδούς:	-	-	-	-	-	-
από παραγωγή αργού και αερίου	0,06	0,01	0,03	0,11	0,06	0,01
από διανομή και πωλήσεις	0,45	0,08	0,27	0,43	0,24	0,04
από υπηρεσίες στα πηγάδια	0,07	0,01	0,04	0,11	0,06	0,01
Σε σχηματισμούς	74,68	12,70	44,06	78,66	44,05	7,08
Στο υπέδαφος	1,78	0,30	1,05	1,36	0,76	0,12
Σύνολο βιομηχανικών:	77,04	13,10	45,45	80,65	45,16	7,26

Πίνακας 18: Αποθέσεις νερού Rosneft για τα έτη 2016-2017

Διαχείριση λυμάτων	2016			2017		
	Ποσότητα	Ural	Siberian	Ποσότητα	Ural	Siberian
	10 ⁶ m ³			10 ⁶ m ³		
Εγκαταστάσεων (domestic)	70,47	39,15	6,68	75,90	42,03	7,29
Σε επιφανειακές οδούς:	112,55	62,53	10,68	116,65	64,60	11,20
από παραγωγή αργού και αερίου	0,02	0,01	0,00	0,19	0,11	0,02
από διανομή και πωλήσεις	0,41	0,23	0,04	0,51	0,28	0,05
από υπηρεσίες στα πηγάδια	0,16	0,09	0,02	0,10	0,05	0,01
Σε σχηματισμούς	79,74	44,30	7,56	80,63	44,65	7,74
Στο υπέδαφος	0,22	0,12	0,02	0,10	0,05	0,01
Σύνολο βιομηχανικών	80,55	44,75	7,64	81,53	45,15	7,83

Τέλος, από τα δεδομένα των πινάκων και την αναγωγή τους ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος προέκυψαν οι μπλε και γκρι συνιστώσες και με την άθροιση τους το ΥΑ που αφορά στα αργά Ural και Siberian Blend και παρουσιάζονται στον πίνακα 8 που ακολουθεί.

Πίνακας 19: Υδατικό αποτύπωμα Ural και Siberian Blend για τα έτη 2014-2017

Τύπος Αργού		Υδατικό αποτύπωμα m ³ /bbl			
		2014	2015	2016	2017
Siberian Light	Μπλε	0,13	0,13	0,13	0,15
	Γκρι	0,11	0,10	0,09	0,90
	Συνολικό	0,24	0,23	0,22	0,24
Ural	Μπλε	0,13	0,13	0,13	0,15
	Γκρι	0,11	0,11	0,09	0,10
	Συνολικό	0,24	0,24	0,22	0,24

6.1.2 Υπολογισμοί για τα αργά Tengiz, CPC Blend και Kumkol - εταιρεία KazMunayGaz

Η εταιρεία KazMunayGas (KMG) από το Καζακστάν αντιπροσωπεύει τα αργά Tengiz και CPC Blend. Οι ακριβείς ποσότητες προμήθειας, αλλά και το ποσοστό τους στη συνολική ανά έτος, παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 20 : Προμήθεια Αργών στις ΒΕΑ από την εταιρεία KazMunayGaz για τα έτη 2014-2016

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό (%)	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό (%)	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό (%)
Tengiz	21.059.519	0,34	26.736.354	0,51	11.265.429	0,17
CPC Blend	1.119.415.717	18,32	71.6164.543	13,59	995.342.234	14,72
Kumkol	12.505.517	0,20	-	-	-	-

Το Tengiz είναι ο κυρίαρχος τύπος αργού που εξάγει η χώρα και παράγεται από το χερσαίο κοίτασμα Tengiz (Oil Field) από την Tengizchevroil, μια κοινοπραξία που μέτοχοι είναι οι εταιρείες Chevron(50%), ExxonMobil (25%), KazMunayGas (20%). [36]

Το CPC Blend είναι ένα μίγμα αργών (με κυρίαρχο συστατικό το Tengiz) που μεταφέρεται μέσω του Αγωγού Caspian. Ο αγωγός εισάγει αργά από το Tengiz Field, από το Kasaghan κ.α. Το Kasaghan είναι ένα άλλο υπεράκτιο κοίτασμα στο Καζακστάν στο οποίο μετέχει η εταιρεία (16,88%) και ελέγχεται από τη κοινοπραξία Caspian Pipeline. Οι μέτοχοι του Tengiz Field ελέγχουν την κοινοπραξία σε ποσοστό 55,75% και οι μέτοχοι του Kasaghan με ποσοστό 33,1%. [36] Παρότι στον αγωγό εισάγουν και άλλες χώρες, όπως η Ρωσία για το CPC Blend, μελετήθηκε μόνο η συμμετοχή του Καζακστάν και συγκεκριμένα της KazMunayGas.

Από τα παραπάνω, κρίθηκε σωστή η επιλογή της εταιρείας για εξαγωγή δεδομένων παραγωγής, κατανάλωσης και αποθέσεων, ικανών να περιγράψουν το υδατικό αποτύπωμα των αργών Tengiz και CPC Blend.

Από τους ετήσιους απολογισμούς της εταιρείας [36] εξήχθησαν δεδομένα για την παραγωγή στο Καζακστάν για τα έτη 2014-2016. Τα δεδομένα παραγωγής αφορούσαν στην παραγωγή όλης της χώρας, αλλά και των τύπων αργού. Γνωρίζοντας ότι τα δεδομένα νερού αφορούσαν μόνο στην εταιρεία KMG, αλλά συμπεριλάμβαναν και τις κοινοπραξίες (Tengiz και Kasaghan), χρησιμοποιώντας τα ποσοστά συμμετοχής της εταιρείας στις εκάστοτε κοινοπραξίες εξήχθησαν οι ποσότητες αργού που παρήγαγε η εταιρεία.

Πίνακας 21 : Απόδοση Παραγωγής Tengiz και CPC Blend στη KMG για τα έτη 2014-2016

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα (MMT)	Συμμετοχή	Ποσότητα (MMT)	Συμμετοχή	Ποσότητα (MMT)	Συμμετοχή
Tengiz KMG	26,70	0,24	20,00	0,18	27,00	0,25
CPC Blend KMG	6,69	0,30	6,38	0,29	7,41	0,34
Συνολική Παραγωγή KMG	22,62	1,00	22,25	1,00	21,84	1,00

Από τις εκθέσεις βιωσιμότητας της εταιρείας [37] εξήχθησαν δεδομένα για τη διαχείριση των υδατικών πόρων από την εταιρεία. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην έκθεση 2016 η εταιρεία παραθέτει αναλυτικό διάγραμμα των δραστηριοτήτων της ανά τομέα (upstream, downstream) όσον αφορά στη χρήση νερού, με αποτέλεσμα να είναι εύκολη η σωστή εξαγωγή δεδομένων που αφορούσαν στη μελέτη, αλλά και η αντιστοίχισή τους με τις εκθέσεις των προηγούμενων ετών που δεν ήταν τόσο αναλυτικές.

Για τον προσδιορισμό της μπλε συνιστώσας χρειάστηκαν δεδομένα κατανάλωσης νερού και να αποδοθούν στα αργά με το ποσοστό συμμετοχής τους στο μίγμα παραγωγής ,ισχύοντας οι παραδοχές (i) και (ii).

Πίνακας 22: Ετήσια κατανάλωση νερού από τη KMG για τα έτη 2014-2016

	2014			2015			2016		
	10 ⁶ m ³			10 ⁶ m ³			10 ⁶ m ³		
Ετήσια κατανάλωση νερού	Ποσότητα	Tengiz	CPC	Ποσότητα	Tengiz	CPC	Ποσότητα	Tengiz	CPC
Συνολική	53,15	12,55	15,71	48,10	8,65	13,79	51,30	12,68	17,42
Παραγωγή αργού και αερίου	-	-	-	45,70	8,22	13,10	47,80	11,82	16,23
Υπηρεσίες στα πηγάδια	-	-	-	-	-	-	0,50	0,12	0,17
Διανομή και πωλήσεις/domestic	-	-	-	2,40	0,43	0,69	3,00	0,74	1,02

Η ίδια λογική ακολουθήθηκε για τη γκρι συνιστώσα σε δεδομένα υγρών αποβλήτων αυτή τη φορά.

Πίνακας 23: Αποθέσεις νερού για την KMG για τα έτη 2016-2017

	2014			2015			2016		
Διαχείριση λυμάτων	10 ⁶ m ³								
	Ποσότητα	Tengiz	CPC	Ποσότητα	Tengiz	CPC	Ποσότητα	Tengiz	CPC
Σύνολο	1,10	0,26	0,33	1,09	0,20	0,01	1,20	0,30	0,41
Σε λίμνες εξάτμισης	0,97	0,23	0,29	1,00	0,18	0,01	1,01	0,25	0,34
Σε τρίτους για επανάχρηση	0,13	0,03	0,04	0,09	0,02	0,00	0,19	0,05	0,07

Με αναγωγή ανά μονάδα προϊόντος προέκυψαν οι μπλε και γκρι συνιστώσες και από το άθροισμά τους υπολογίστηκε το συνολικό ΥΑ για τα Tengiz και CPC Blend.

Πρέπει να σημειωθεί πως το αργό Kumkol δεν παράγεται από την ίδια εταιρεία και, καθώς δεν ήταν δυνατή η εύρεση δεδομένων άντλησης του, το Υδατικό του αποτύπωμα αποτέλεσε ο μέσος όρος των αργών Tengiz και CPC Blend.

Πίνακας 24: Υδατικό αποτύπωμα Tengiz και CPC Blend για τα έτη 2014-2016

Τύπος Αργού		Υδατικό αποτύπωμα m ³ /bbl		
		2014	2015	2016
Tengiz	Μπλε	0,30	0,27	0,30
	Γκρι	0,01	0,08	0,01
	Συνολικό	0,31	0,35	0,31
CPC Blend	Μπλε	0,29	0,28	0,30
	Γκρι	0,01	0,07	0,01
	Συνολικό	0,30	0,35	0,31
Kumkol	Συνολικό	0,305	0,350	0,310

6.1.3 Υπολογισμοί για τα αργά Qarun, Ras Gharib και Western Desert- εταιρεία Apache

Οι Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Ασπροπύργου των ΕΛΠΕ προμηθεύεται τα αιγυπτιακά αργά Qarun, Ras Gharib και Western Desert από την κρατική αιγυπτιακή εταιρεία EGPC (Egyptian General Petroleum Corporation). Καθώς δεν ήταν δυνατή η εύρεση δεδομένων είτε παραγωγής είτε διαχείρισης νερού για την εταιρεία, το ενδιαφέρον στράφηκε στην αμερικάνικη εταιρεία Apache, η οποία συμμετέχει ενεργά στην εκμετάλλευση των εν λόγω κοιτασμάτων.

Πίνακας 25: Προμήθεια Αργών στις ΒΕΑ από την εταιρεία EGPC για τα έτη 2014-2016

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό %	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό %	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό %
Qarun	893.394.756	14,62	970.817.457	18,42	1.243.501.497	18,39
Western Desert	25.537.133	0,42	51.756.383	0,98	117.733	0,002
Ras Gharib	121.040.964	1,98%	-	-	-	-

Για παράδειγμα, η περιοχή Qarun της Δυτικής ερήμου στην Αίγυπτο γίνεται αντικείμενο εκμετάλλευσης από την εταιρεία Qarun Petroleum Company, συμφερόντων των EGPC (50%), Apache (37,5%) και Dana (12,5%). [38]

Η εταιρεία Apache παρότι δραστηριοποιείται σε διαφορετικές χώρες, Η.Π.Α, Βόρεια Θάλασσα, Αίγυπτος κ.α. στον τομέα της έρευνας και παραγωγής(E&P), στις ετήσιες αναφορές της και στις εκθέσεις βιωσιμότητας παραθέτει στοιχεία τα οποία αφορούν αποκλειστικά στις επιδόσεις της στην Αίγυπτο, γεγονός το οποίο επιτρέπει την αξιοποίηση των δεδομένων αυτών.

Από τους ετήσιους απολογισμούς της εταιρείας [39] για τα έτη που μελετώνται εξήχθησαν πληροφορίες για το ύψος της παραγωγής αργού της εταιρείας για τα έτη 2014-2016 στην Αίγυπτο. Καθώς, δεν ήταν δυνατή η εύρεση πληροφοριών που αφορούσαν ξεχωριστά στην απόδοση των δυο αργών, χρησιμοποιήθηκε η παραδοχή (iii), δηλαδή, η ταύτιση όλων των διαφορετικών τύπων αργών που παράγει η εταιρεία και ο υπολογισμός ενός αποτυπώματος ο οποίος θα περιγράφει το Qarun και το Western Desert.

Για το έτος 2014, δεν υπήρχαν δεδομένα που να αφορούν ξεχωριστά στη χώρα. Στους υπολογισμούς παραγωγής, αλλά και του νερού, για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος της απόδοσης της χώρας για τα έτη 2015 και 2016.

Πίνακας 26: Απόδοση Παραγωγής της Apache στην Αίγυπτο για τα έτη 2014-2016

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα (MMbbl)	Κλάσμα	Ποσότητα (MMbbl)	Κλάσμα	Ποσότητα (MMbbl)	Κλάσμα
Αίγυπτος	39,81	0,30	33,55	0,26	40,71	0,33
Συνολική Παραγωγή	134,69	1,00	128,48	1,00	123,37	1,00

Από τις εκθέσεις βιωσιμότητας [40] της εταιρείας υπήρχε πρόσβαση σε δεδομένα απολήψεων νερού και ταυτίστηκαν με την κατανάλωση που απαιτήθηκε από την εταιρεία το εκάστοτε έτος 2015-2016 στην Αίγυπτο

αλλά και συνολικά, ενώ για το έτος 2014, όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος της απόδοσης της Αιγύπτου σε σχέση με τη γενική άντληση. Επίσης, γνωρίζοντας το ποσοστό επαναχρησιμοποίησης του νερού και για τα τρία έτη επί του συνόλου της άντλησης, θεωρήθηκε ότι το ποσοστό αυτό μεταφέρεται και στην Αίγυπτο και έτσι αφαιρέθηκε η αντίστοιχη ποσότητα από την ετήσια κατανάλωση.

Πίνακας 27: Καταναλώσεις νερού από την Apache για τα έτη 2014-2016

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα	Ποσοστό	Ποσότητα	Ποσοστό	Ποσότητα	Ποσοστό
Ετήσια κατανάλωση νερού	10 ⁶ m ³		10 ⁶ m ³		10 ⁶ m ³	
Συνολική κατανάλωση	193,96	100,00%	192,27	100,00%	165,00	100,00%
Αιγύπτου	48,60	25,06%	46,20	24,03%	43,05	26,09%
Συνολικό Ανακυκλωμένο	87,03	45,00%	94,21	49,00%	92,40	56,00%
Ανακυκλωμένο Αιγύπτου	21,81	11,28%	22,64	11,27%	24,11	14,61%
Συνολική κατανάλωση χωρίς ανακύκλωση	26,80	-	23,56	-	18,94	-

Μην έχοντας δεδομένα για τον υπολογισμό της Γκρι συνιστώσας για την εταιρεία και συνυπολογίζοντας ότι η Μπλε αντιστοιχίζεται σε βελτιωμένη μέθοδο άντληση θεωρήθηκε η Γκρι συνιστώσα 0,02 m³/bbl και για τις τρεις χρονιές, ποσό που εξήχθη από το μέσο όρο των Γκρι συνιστωσών που υπολόγισαν οι Carmona et.al. [31] για τα κοιτάσματα που χρησιμοποιούν ΒΜΑ. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 28: Υδατικό αποτύπωμα Qarun, Ras Gharib και Western Desert για τα έτη 2014-2016

Τύπος Αργού		Υδατικό αποτύπωμα m ³ /bbl		
		2014	2015	2016
Qarun	Μπλε	0,58	0,67	0,70
Ras Gharib	Γκρι	0,02	0,02	0,02
Western Desert	Συνολικό	0,60	0,69	0,72

6.1.4 Υπολογισμοί για το αργό Sahara Blend- εταιρεία CEPSA

Το Sahara Blend είναι το μοναδικό αργό που προμηθεύονται οι ΒΕΑ από την Αλγερία. Παρότι το αργό αυτό παρουσιάζεται σε προμήθειες ετών που δεν αφορούν στα έτη που μελετώνται στα πλαίσια αυτής της εργασίας (2017), κρίθηκε απαραίτητο να εξαχθεί ΥΑ για τη χώρα αυτή, με σκοπό την εισαγωγή δεδομένων στη μέθοδο της παλινδρόμησης που ακολούθησε.

Η κρατική εταιρεία πετρελαίου της Αλγερίας (Sonatrach) συνεργάζεται με πολλές εταιρείες σε διαφορετικές τοποθεσίες παραγωγής της λεκάνης Berkine, όπου εξάγεται το αργό Sahara Blend. Μια από αυτές, η οποία δημοσίευε στοιχεία που αφορούσαν ξεχωριστά τις δραστηριότητές της στην Αλγερία, είναι η ισπανική εταιρεία CEPSA (Compañía Española de Petróleos). [41]

Από τους ετήσιους απολογισμούς και τις εκθέσεις εταιρικής υπευθυνότητας της εταιρείας [42] εξήχθησαν στοιχεία για το ύψος της παραγωγής της εταιρείας στην Αλγερία το έτος 2016 αργό και φυσικό αέριο και το ποσοστό αυτό μεταφέρθηκε στα έτη 2015 και 2014 αλλά και στην αναλογία στην παραγωγή του αργού.

Πίνακας 29: Απόδοση Παραγωγής της CEPSA στην Αλγερία για τα έτη 2014-2016

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα	Κλάσμα	Ποσότητα	Κλάσμα	Ποσότητα	Κλάσμα
Αλγερία (MMboe)	-	0,49	10,98	0,49	13,06	0,49
Συνολική Παραγωγή CEPSA (MMboe)	-	1,00	22,25	1,00	26,46	1,00

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα	Κλάσμα	Ποσότητα	Κλάσμα	Ποσότητα	Κλάσμα
Αλγερία (MMbbl)	19,25	0,49	19,47	0,49	17,43	0,49
Συνολική Παραγωγή CEPSA (MMbbl)	39,02	1,00	39,46	19,47	35,33	1,00

Παρότι η CEPSA δραστηριοποιείται στον τομέα της έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων σε διαφορές χώρες (Αλγερία, Κολομβία, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, κα) μόνο η Αλγερία ευθύνεται για το 49% της συνολικής παραγωγής της. Με γνώμονα το γεγονός αυτό, παρότι οι καταναλώσεις νερού και οι αποθέσεις λυμάτων νερού που καταγράφηκαν αφορούν όλη της τη δραστηριότητα, κρίθηκαν αντιπροσωπευτικά. Η εταιρεία στις αναφορές της παρουσιάζει ενδελεχώς τη διαχείριση των υδάτινων πόρων της και τους κατανέμει ανά τομέα δραστηριοτήτων.

Οι καταναλώσεις νερού για τη διαμόρφωση της μπλε συνιστώσας παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 30: Ετήσιες καταναλώσεις νερού CEPSA για τα έτη 2014-2016

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα	SHR BLD	Ποσότητα	SHR BLD	Ποσότητα	SHR BLD
Ετήσια κατανάλωση νερού	10 ⁶ m ³		10 ⁶ m ³		10 ⁶ m ³	
Συνολική για την Αλγερία	36,01	-	36,91	-	32,59	-
Έρευνα και Παραγωγή	12,68	6,26	13,51	6,66	14,01	6,91
Διανομή και πωλήσεις	1,45	0,71	1,45	0,72	1,41	0,70
Άθροισμα	14,13	6,97	14,96	7,38	15,42	7,61

Η γκρι συνιστώσα βασίστηκε στον πίνακα με τις αποθέσεις νερού της εταιρείας.

Πίνακας 31: Αποθέσεις νερού για τη CEPSA για τα έτη 2014-2016

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα	SHR BLD	Ποσότητα	SHR BLD	Ποσότητα	SHR BLD
Διαχείριση λυμάτων	10 ⁶ m ³		10 ⁶ m ³		10 ⁶ m ³	
Σύνολο Αλγερίας	15,07	7,44	15,46	0,00	12,04	0,00
Έρευνα και Παραγωγή	0,35	0,17	0,93	0,46	0,70	0,34
Διανομή και πωλήσεις	1,62	0,80	1,66	0,82	1,24	0,61
Άθροισμα	1,97	0,97	2,58	1,27	1,94	0,96

Χρησιμοποιώντας δεδομένα που αντιστοιχούν στους τομείς της έρευνας και παραγωγής υδρογονανθράκων και διανομών και πωλήσεων υπολογίστηκαν τα Υδατικά Αποτυπώματα του πίνακα.

Πίνακας 32: Υδατικό αποτύπωμα Sahara Blend για τα έτη 2014-2016

Τύπος Αργού		Υδατικό αποτύπωμα m ³ /bbl		
		2014	2015	2016
Sahara Blend	Μπλε	0,36	0,37	0,44
	Γκρι	0,05	0,07	0,05
	Συνολικό	0,41	0,44	0,49

6.1.5 Υπολογισμοί για τα αργά Al Jurf, Sarir και Bourj - εταιρεία Wintershall

Τα τρία αργά προμηθεύει η κρατική εταιρεία πετρελαίου της Λιβύης NOC (National Oil Company) είναι τα Sarir, Bourj και Al Jurf.

Πίνακας 33: Προμήθεια Αργών στις BEA από την εταιρεία NOC για τα έτη 2014-2016

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό (%)	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό (%)	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό (%)
Al Jurf	2.122.986	0,03	-	-	58.666.782	0,87
Sarir	201.437.650	3,30	279.909.140	5,31	147.264.495	2,18
Bourj	428.695	0,01	-	-	-	-

Τα αργά Bourj και Al Jurf παράγονται από τα ομώνυμα θαλάσσια κοιτάσματα, ενώ το Sarir αποτελεί χερσαίο κοιτάσμα. Καθώς η προμηθεύουσα εταιρεία δεν παραθέτει δεδομένα, το ενδιαφέρον στράφηκε στις εταιρείες που παράγουν τα θαλάσσια. Από αυτές δημοσιευμένα δεδομένα από τα οποία θα μπορούσε να εξαχθούν στοιχεία για τον υπολογισμό του Υδατικού Αποτυπώματος παρείχε η εταιρεία Wintershall, η οποία είναι υπεύθυνη για την εκμετάλλευση του αργού Al Jurf.

Η γερμανική Wintershall δραστηριοποιείται στον τομέα της έρευνας, παραγωγής και πώλησης υδρογονανθράκων σε διαφορετικές χώρες, αλλά και σε άλλα κοιτάσματα της Λιβύης. Στον ετήσιο απολογισμό της εταιρείας για το έτος 2015 [43] αλλά και στην έκθεση εταιρικής ευθύνης της για το έτος 2016 [44] βρέθηκε το ύψος παραγωγής αργού πετρελαίου της εταιρείας αλλά και η συνολική παραγωγή της.

Πίνακας 34: Απόδοση παραγωγής αργού της εταιρείας Wintershall

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα (MMboe)	Κλάσμα	Ποσότητα (MMboe)	Κλάσμα	Ποσότητα (MMboe)	Κλάσμα
Παραγωγή Αργού	30,60	0,23	40,00	0,26	48,00	0,29
Συνολική Παραγωγή Wintershall	136,00	1,00	153,00	1,00	165,00	1,00

Λόγω απουσίας στοιχείων που να αφορούν στην περιοχή της Λιβύης υπολογίστηκε το ΥΑ της εταιρείας για όλες τις δραστηριότητες της παγκοσμίως και στη συνέχεια ταυτίστηκε με αυτό για τη παραγωγή ενός βαρελιού Al Jurf. Ακόμα, θεωρώντας ότι το Φ.Α. και το αργό παράγονται από τα ίδια κοιτάσματα και άρα απαιτούνται οι ίδιες καταναλώσεις αποδόθηκε στα δεδομένα νερού η απόδοση της παραγωγής αργού.

Δεδομένα κατανάλωσης νερού οδήγησαν στη σύνθεση της μπλε συνιστώσας ,

Πίνακας 35: Ετήσια κατανάλωση νερού της Wintershall για τα έτη 2014-2016

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα	Αργό	Ποσότητα	Αργό	Ποσότητα	Αργό
Ετήσια κατανάλωση νερού	10 ⁶ m ³		10 ⁶ m ³		10 ⁶ m ³	
Συνολική	29,60	6,66	28,90	7,56	20,70	6,02
Παραγωγή re-injected	10,60	2,39	9,80	2,56	8,90	2,59
Κατανάλωση χωρίς την επαναχρησιμοποίηση	19,00	4,28	19,10	4,99	11,80	3,43

ενώ η γκρι πρόκυψε από δεδομένα απορρίψεων.

Πίνακας 36: Αποθέσεις νερού της Wintershall για τα έτη 2014-2016

	2014		2015		2016	
	Ποσότητα	Αργό	Ποσότητα	Αργό	Ποσότητα	Αργό
Διαχείριση λυμάτων	10 ⁶ m ³		10 ⁶ m ³		10 ⁶ m ³	
Υγρά απόβλητα	1,50	0,00	1,50	0,00	0,60	0,00
Παράγωγο νερό στη θάλασσα	17,30	3,89	17,50	2,56	11,70	3,40
Άθροισμα	18,92	4,26	19,00	4,99	11,70	3,40

Τέλος, με αναγωγή των δεδομένων νερού ανά μονάδα προϊόντος σχηματίστηκε το ΥΑ του Al Jurf. Η τιμή που υπολογίστηκε για το Al Jurf αποδόθηκε και στα άλλα λιβυκά αργά που μελετώνται σύμφωνα με την παραδοχή (iii).

Πίνακας 37: Υδατικό αποτύπωμα για τα αργά Al Jurf, Sarir και Bouri για τα έτη 2014-2016

Τύπος Αργού		Υδατικό αποτύπωμα m ³ /bbl		
		2014	2015	2016
Al Jurf	Μπλε	0,140	0,125	0,072
	Γκρι	0,139	0,124	0,071
Sarir				
Bouri	Συνολικό	0,28	0,25	0,14

6.1.6 Αξιολόγηση Διακριτών Υπολογισμών

Με την εξαγωγή δεδομένων από τις παραπάνω εταιρείες επιτεύχθηκε η περιγραφή του 82,62% των προμηθειών των ΒΕΑ για το έτος 2014, το 74,26% και το 61,13% για τα έτη 2015 και 2016 αντίστοιχα.

Όλες οι υπολογισμένες τιμές του ΥΑ στο κεφάλαιο αυτό ενσωματώνονται στο ευρύ φάσμα που παρουσιάζει η βιβλιογραφία (§4.5). Όπως ήταν λογικό, παρουσιάζονται μεγάλες διακυμάνσεις από παραγωγό σε παραγωγό, αλλά και σε περιπτώσεις από έτος σε έτος μέτρησης. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε πληθώρα λόγων.

Αρχικά, η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται σε διαφορετικούς τρόπους εξόρυξης που χρησιμοποιεί η κάθε εταιρεία, καθώς οι παραδοχές που έπρεπε να γίνουν δεν επιτρέπουν σε διάκριση μεθόδων εξόρυξης μέσα σε αυτές. Διαφορές μέσα στα έτη μέτρησης της ίδια εταιρείας μπορεί να οφείλονται σε αλλαγή μεθόδου ή αναβάθμιση των εγκαταστάσεων με άλλο ποσοστό επανάχρησης.

Για παράδειγμα, η εταιρεία Wintershall δηλώνει πως χρησιμοποιεί τη βελτιωμένη μέθοδο εξόρυξης Steam Flooding [45] σε κοιτάσμα της, το καταναλωτικό ΥΑ για την παραγωγή χωρίς να μετρηθεί η επανάχρηση υπολογίζεται στα 0,22m³/bbl. Οι Gerber-Leenes (Πίνακας 7, §4.5) στη μέθοδο αυτή αποδίδουν ΥΑ 0,88 m³/bbl. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι η εταιρεία είτε χρησιμοποιεί τεχνολογία ανακύκλωσης στη μέθοδο αυτή είτε ότι βασίζεται κυρίως σε άλλες μη υδατικά δαπανηρές μεθόδους ανάκτησης.

Κάθε εταιρεία, επίσης, δραστηριοποιείται σε διαφορετικά κοιτάσματα. Τα κοιτάσματα είτε είναι χερσαία είτε θαλάσσια, οι εργασίες σε αυτά δεν έχουν ξεκινήσει ταυτόχρονα (παλαιότητα), δεν περιέχουν τα ίδια αποθέματα αργού, τον ίδιο τύπο κα. στοιχεία που μπορούν να επηρεάσουν τις απαιτήσεις σε νερό.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι για την εταιρεία Rosneft το ΥΑ που υπολογίστηκε χαρακτηρίζεται χαμηλό στα 0,23 συγκριτικά με τις υπόλοιπες εταιρείες. Το γεγονός αυτό μπορεί να υποστηριχθεί και από το ότι η εταιρεία εκμεταλλεύεται κυρίως 'ώριμα' κοιτάσματα στην περιοχή της Ρωσίας και αφορούν στο 90% της συνολικής της παραγωγής [34].

Ακόμα, κάθε εταιρεία επιτυγχάνει διαφορετικά επίπεδα επανάχρησης του πόρου. Αυτό μπορεί να είναι σύνθετο αποτέλεσμα οικονομικών και αναπτυξιακών κινήτρων. Για παράδειγμα, εταιρείες όπως η Rosneft, παρότι δραστηριοποιείται σε χώρα με υψηλά αποθέματα νερού, παρουσιάζει χαμηλό ΥΑ, ενώ στην Αίγυπτο με την εταιρεία Apache που τα αποθέματα είναι σαφώς λιγότερα το ΥΑ είναι υψηλότερο.

Καθεμία δημοσιοποιεί διαφορετικού τύπου δεδομένα είτε παραγωγής είτε κατανάλωσης με διαφορά στον τρόπο παρουσίασης των δεδομένων από έτος σε έτος, ακόμα και στις ίδιες εταιρείες. Αποτέλεσμα αυτού είναι η πιθανή παραπάνω μέτρηση ή απουσία ποσοτήτων νερού που αφορούν στη μελέτη.

6.2 Υπολογισμός μέσω πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

Στις περιπτώσεις των εταιρειών Saudi Aramco από τη Σαουδική Αραβία, NOIC από το Ιράν, SOMO από το Ιράκ, όπως και για το αργό Azeri Light από το Αζερμπαϊτζάν, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης με βάση τη γεωγραφική θέση των κοιτασμάτων για την πρόβλεψη τους. Τα αργά αυτά αφορούσαν στο 17,38% των προμηθειών για το 2014, το 25,74% για το έτος 2015 και το 38,87% για το 2016 με τους προμηθευτές από το Ιράν και το Ιράκ κυρίαρχα να διαμορφώνουν τα ποσοστά αυτά.

6.2.1 Παράγοντες πρόβλεψης

Αρχικά, αναζητήθηκαν ανεξάρτητες μεταβλητές οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη των τιμών των Υδατικών Αποτυπωμάτων για τις χώρες Αζερμπαϊτζάν, Ιράν, Ιράκ και Σαουδική Αραβία. Ως βάση χρησιμοποιήθηκε η ιδέα του μοντέλου STRIPAT, όπου σύμφωνα με τη βιβλιογραφία μία περιβαλλοντική επίπτωση μπορεί να συνδεθεί γραμμικά με τον πληθυσμό, την ευημερία και την τεχνολογία μέσω παλινδρόμησης. Συμπεριλήφθηκαν, ακόμα, δεδομένα υδατικού δυναμικού της κάθε χώρας λόγω της άμεσης τους σχέσης με την εγγενή έννοια του Υδατικού Αποτυπώματος. Η έρευνα επικεντρώθηκε σε οικονομικά από τη World Bank, περιβαλλοντικά από την AQUASTAT και δεδομένα παραγωγής από τη EIA (US Energy Information Administration), όπως συστήνεται από τη βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, στον οικονομικό τομέα και σε αντιστοιχία με τον όρο της ευημερίας του μοντέλου STRIPAT αναζητήθηκε το κατά κεφαλήν ΑΕΠ της κάθε χώρας και ανά έτος για τις χώρες που υπήρχε παραπάνω από μία τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής. Για τις υπό πρόβλεψη χώρες χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των ετών 2014-2016. Στον περιβαλλοντικό τομέα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα, όπως ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα ανά κάτοικο και ο δείκτης SDG 6.4.2 ή αλλιώς έλλειψη νερού (water stress). Ο δείκτης απεικονίζει τις υδατικές απολήψεις από πρωτογενείς και δευτερογενείς οικονομικές δραστηριότητες της χώρας σε σχέση με τα διαθέσιμα υδατικά αποθέματα, όταν από αυτά αφαιρεθούν οι απαιτούμενες περιβαλλοντικές ροές, οι ροές δηλαδή που απαιτούνται για τη βιώσιμη συντήρηση των οικοσυστημάτων και της ανθρώπινης ζωής. Τέλος, για τον τομέα της τεχνολογίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τα οποία αφορούσαν στον ημερήσιο ρυθμό παραγωγής αργού της κάθε χώρας.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι για όλα τα περιβαλλοντικά δεδομένα δεν υπήρχαν ετήσιες μετρήσεις αλλά ενδεικτικές τιμές ενός ή παραπάνω ετών σε βάθος εικοσαετίας, με αποτέλεσμα για αρκετές μεταβλητές να γίνει χρήση των τελευταίων μετρήσεων.

Στην προσπάθεια διαμόρφωσης του μοντέλου παλινδρόμησης διερευνήθηκαν διαφορετικοί συνδυασμοί ανεξάρτητων μεταβλητών και εφαρμόστηκαν σε διαφορετικά σύνολα δεδομένων.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στις ανεξάρτητες μεταβλητές δεδομένα για τον αριθμό ενεργών πλατφόρμων εξόρυξης (oil rigs), τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα υδατικά αποθέματα και για την παραγωγή υγρών αποβλήτων δεν ήταν διαθέσιμα για κάθε χώρα όπως Ρωσία και Ιράν κ.α., με αποτέλεσμα να τεθούν εκτός των υποψήφιων παραγόντων πρόβλεψης. Μεταβλητές που διερευνήθηκαν, αλλά δε συμμετείχαν στο τελικό μοντέλο, ήταν τα συνολικά ανανεώσιμα υδατικά αποθέματα, οι βιομηχανικές απολήψεις και το ποσοστό τους στις συνολικές απολήψεις της χώρας και ο δείκτης MDG 7.5 (UN Millennium Development Goal) που αποτυπώνει τη σχέση των συνολικών απολήψεων γλυκού νερού μιας χώρας με τα συνολικά ανανεώσιμα υδατικά αποθέματά της.

Επιπλέον, οι παραπάνω μεταβλητές εφαρμόστηκαν σε διαφορετικά σύνολα δεδομένων, όπως για παράδειγμα, η χρήση του μέσου όρου του ΥΑ μίας χώρας ως εξαρτημένη μεταβλητή αλλά λόγω μικρού αριθμού μετρήσεων (6 χώρες) δεν ήταν εφικτή η χρήση παραπάνω από δύο μεταβλητών για την πρόβλεψη και δεν παρουσίαζαν καλή προσαρμογή στα δεδομένα. Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκαν διαφορετικά σύνολα δεδομένων με διαφορετική συμμετοχή των χωρών κάθε φορά. Ενδεικτικά κάποιιοι από τους συνδυασμούς που ερευνήθηκαν παρατίθενται στο Παράρτημα III.

6.2.2 Ανάπτυξη του μοντέλου παλινδρόμησης

Η επεξεργασία των μεταβλητών, η εξερεύνηση των μεταξύ τους σχέσεων και το μοντέλο παλινδρόμησης αναπτύχθηκε στο λογισμικό IBM SPSS Statistics (Παράρτημα II).

Καθώς προσδιορίστηκαν οι ανεξάρτητες μεταβλητές που θα μπορούσαν να συμμετάσχουν στο μοντέλο παλινδρόμησης, ακολούθησε η αναζήτηση αυτών που θα μπορούσαν να περιγράψουν καλύτερα τα υπολογισμένα Υδατικά Αποτυπώματα της κάθε χώρας. Αρχικά, έγινε διερεύνηση του κατά πόσο οι τιμές των μεταβλητών στις χώρες τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα, καλύπτουν το φάσμα τιμών για τις υπό πρόβλεψη χώρες. Σε πολλές περιπτώσεις το εύρος τιμών στην ίδια τη μεταβλητή ήταν τόσο μεγάλο, που χρειάστηκε να μετασχηματιστεί αριθμητικά για τη μείωση του, όπως για παράδειγμα η μεταβλητή σύνολο των εσωτερικών υδατικών αποθεμάτων της χώρας ανά κάτοικο που ως παράγοντας πρόβλεψης έγινε χρήση του φυσικού λογαριθμικού μετασχηματισμού της. Στο παράρτημα II.1 παρουσιάζονται οι σχέσεις των ανεξάρτητων μεταβλητών μεταξύ δεδομένων και προβλέψεων.

Στη συνέχεια, ακολούθησε ο έλεγχος των συσχετίσεων είτε των ανεξάρτητων μεταβλητών μεταξύ τους, αλλά και με την εξαρτημένη. Αφού απορρίφθηκαν ανεξάρτητες μεταβλητές που είχαν υψηλή συσχέτιση με άλλες ανεξάρτητες και χαμηλή συσχέτιση με την εξαρτημένη, επιλέχθηκαν οι ανεξάρτητες μεταβλητές κατά κεφαλήν ΑΕΠ της κάθε χώρας, το σύνολο των εσωτερικών υδατικών αποθεμάτων της χώρας ανά κάτοικο, ο ημερήσιος ρυθμός παραγωγής αργού πετρελαίου, και ο δείκτης SDG 6.4.2 ως παράγοντες πρόβλεψης. Οι συσχετίσεις παρουσιάζονται στο Παράρτημα II.2.

Πίνακας 38: Ανεξάρτητες Μεταβλητές και Υδατικά Αποτυπώματα που εισήχθηκαν στο μοντέλο παλινδρόμησης.

Χώρες	Κατά κεφαλήν ΑΕΠ ¹	SDG 4.6.2 Water Stress ²	Ετήσια Παραγωγή Αργού ³	Υδατικά Αποθέματα ανά Κάτοικο ¹ (2014)	Λογαριθμικός Μετασχηματισμός (Υδατικά Αποθέματα ανά Κάτοικο)	Υδατικό Αποτύπωμα
	(\$)	-	(MMbbl/day)	(m ³)	(m ³)	(10 ⁻² m ³ /bbl)
Αζερμπαϊτζάν	5439,0	53,13(2012)	0,84	851,1	6,75	-
Ιράν	5372,0	90,00(2004)	3,76	1638,8	7,40	-
Ιράκ	4640,0	93,06(2010)	4,09	1005,5	6,91	-
Σαουδική Αραβία	20482,0	1243(2000)	10,12	780,0	6,66	-
Κολομβία 2012	6789,5	0,856(2008)	0,94	44882,1	10,71	22
Ρωσία 2014	14354,8	2,009(2013)	10,11	29982	10,31	24
Ρωσία 2015	9510,2	2,009(2013)	10,25	29982	10,31	23,5
Ρωσία 2016	11279,0	2,009(2013)	10,55	29982	10,31	22
Ρωσία 2017	10608,2	2,009(2013)	10,58	29982	10,31	24,5
Καζακστάν 2014	14354,8	28,14(2010)	1,63	3722,2	8,22	31
Καζακστάν 2015	9510,2	28,14(2010)	1,65	3722,2	8,22	35
Καζακστάν 2016	8899,9	28,14(2010)	1,60	3722,2	8,22	31
Κολομβία 2013	7051,0	0,856(2008)	1,01	44882,1	10,71	22
Κολομβία 2014	7291,7	0,856(2008)	0,99	44882,1	10,71	22
Κολομβία 2015	7446,2	0,856(2008)	1,01	44882,1	10,71	22
Αλγερία 2014	4675,9	87,99(2012)	1,42	287,6	5,66	41
Αλγερία 2015	4759,6	87,99(2012)	1,43	287,6	5,66	44
Αλγερία 2016	4827,7	87,99(2012)	1,35	287,6	5,66	49
Αίγυπτος 2014	2608,4	159,8(2010)	0,71	19,6	2,98	69
Αίγυπτος 2015	2665,4	159,8(2010)	0,71	19,6	2,98	72
Λιβύη 2014	6697,1	1072(2012)	0,47	112,8	4,73	27
Λιβύη 2015	6073,4	1072(2012)	0,40	112,8	4,73	25

Συλλογή δεδομένων από:

- (1) World Bank Open Data -World Bank Group
- (2) AquaSTAT Database -Food and Agriculture Organization of the United Nations
- (3) Monthly Energy Review -Energy Info Administration

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο δείκτης SDG 6.4.2 δεν παρουσιάζει συσχέτιση με την εξαρτημένη μεταβλητή, αλλά στους διαφόρους συνδυασμούς που ερευνήθηκαν τα μοντέλα στα οποία συμμετείχε παρουσίαζαν πάντα καλή προσαρμογή.

Για τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που υπολογίστηκαν για τις εταιρείες (§6.1.). Για τη διατήρηση των θετικών προβλέψεων του Υδατικού Αποτυπώματος ως εξαρτημένης μεταβλητής επιλέχθηκε ο φυσικός λογάριθμος των τιμών που εισήχθησαν. Καθώς δεν ήταν δυνατή η προσαρμογή στα δεδομένα χωρών που παρουσίαζαν μεγάλες διαφορές στο Υδατικό τους Αποτύπωμα, καθώς, όπως προαναφέρθηκε, πολλές από τις ανεξάρτητες μεταβλητές αφορούσαν μετρήσεις ενός μόνο έτους, αφαιρέθηκαν από το μοντέλο παλινδρόμησης και επιλέχτηκαν οι επικρατούσες τιμές.

Επιπλέον, για την τιμή του ΥΑ της Κολομβίας έγινε χρήση του μέσου όρου των τιμών που υπολογίστηκαν από τους Carmona et al. [31]. Όλες οι συνιστώσες έχουν υπολογιστεί για το έτος 2012, ενώ για τα 2013-2015 δίνονται στοιχεία μόνο για την τιμή της μπλε συνιστώσας. Γι αυτό αποδόθηκε η σταθερή τιμή της γκρι συνιστώσας $0,03 \text{ m}^3/\text{bbl}$ του έτους 2012 για το ένα κοίτασμα που χρησιμοποιεί EOR.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι τα ΥΑ αποτυπώματα που εισήχθησαν αποτελούν την άθροιση των συνιστωσών μπλε και γκρι, με αποτέλεσμα στις τιμές που υπολογίστηκαν από το μοντέλο να μην μπορεί να γίνει διάκριση τους.

Το μοντέλο διαμορφώθηκε ως εξής:

Συνάρτηση Παλινδρόμησης :

$$\ln(YA) = [(-2,046 \cdot 10^{-7})a + (-0,001)b + 0,001c + (-0,161)d + 4,814] j^{10-2} \quad (\text{Μονάδες : } \text{m}^3/\text{bbl} \text{ αργού})$$

όπου :

a : Κατά κεφαλήν ΑΕΠ

b: SDG 6.4.2 -Water Stress

c: Ημερήσιος Ρυθμός Παραγωγής Αργού Πετρελαίου

d: ln(Συνολικά Εσωτερικά Υδατικά Αποθέματα της χώρας ανά κάτοικο)

και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 39 που ακολουθεί :

Πίνακας 39:Αποτελέσματα και προσαρμογή μοντέλου παλινδρόμησης στα δεδομένα

Χώρες	ΥΑ (m ³ /bbl)	ΥΑ (Μοντέλο) (m ³ /bbl)	Σχετικό Απόλυτο Σφάλμα
Αζερμπαϊτζάν	-	0,399	-
Ιράν	-	0,351	-
Ιράκ	-	0,379	-
Σαουδική Αραβία	-	0,172	-
Αλγερία (2014)	0,41	0,464	13,2%
Αλγερία (2015)	0,44	0,464	5,5%
Αλγερία (2016)	0,49	0,464	5,3%
Αίγυπτος (2014)	0,69	0,679	1,5%
Αίγυπτος (2015)	0,72	0,679	5,6%
Καζακστάν (2014)	0,31	0,320	3,3%
Καζακστάν (2015)	0,35	0,320	8,4%
Καζακστάν (2016)	0,31	0,321	3,4%
Κολομβία (2012)	0,22	0,219	0,5%
Κολομβία (2013)	0,22	0,219	0,5%
Κολομβία (2014)	0,22	0,219	0,5%
Κολομβία (2015)	0,22	0,219	0,5%
Λιβύη (2014)	0,27	0,265	1,9%
Λιβύη (2015)	0,25	0,265	5,9%
Ρωσία (2014)	0,24	0,234	2,4%
Ρωσία (2015)	0,235	0,234	0,2%
Ρωσία (2016)	0,22	0,234	6,6%
Ρωσία (2017)	0,245	0,234	4,3%

Το μοντέλο παρουσιάζει καλή προσαρμογή στα δεδομένα που εισήχθησαν με $R^2=0,982$. Δεν παρουσιάζουν όλες οι μεταβλητές υψηλή σημαντικότητα, αλλά συμπεριλήφθησαν στο μοντέλο για λόγους προσαρμογής. Το μέγιστο σχετικό απόλυτο σφάλμα παρουσιάζεται με τιμή 13,2% στην Αλγερία για το έτος 2014, με αμέσως επόμενο στο Καζακστάν για το έτος 2015. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις μικρές, και για μεταβλητές όπως ο δείκτης SDG 6.4.2, μη υπάρχουσες αποκλίσεις στις τιμές των χωρών ανά έτος.

Οι τιμές που προβλέφθηκαν κρίνονται λογικές και αντιστοιχούν στα οικονομικά και αναπτυξιακά επίπεδα της κάθε χώρας. Συγκεκριμένα, η τιμή που αποδίδεται από το μοντέλο για τη Σαουδική Αραβία περιγράφονται πολύ σωστά από το συνδυασμό των βιβλιογραφιών [[26], [25],(§4.4)] για κοιτάσματα στα οποία γίνεται επανάχρηση παράγωγου νερού.

6.3 Τελικός Υπολογισμός Υδατικού Αποτύπωματος της Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Από τα ΕΛΠΕ δόθηκαν δεδομένα που αφορούσαν στις ποσότητες αργού που κατεργάστηκαν στις Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Ασπροπύργου για τα έτη 2014-2016. Ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία (μετατροπή μονάδων) (Παράρτημα Ι) έγινε δυνατή η απόδοση τους στο αντίστοιχο Υδατικό αποτύπωμα προϊόντος που είχε υπολογιστεί σύμφωνα με την εξίσωση 4 (§3.1.3.). Με τον τρόπο αυτό και από την άθροιση τους υπολογίστηκε το Υδατικό Αποτύπωμα της Εφοδιαστικής Αλυσίδας των ΒΕΑ για τα έτη 2014, 2015 και 2016. Όπως

προαναφέρθηκε, καθώς συμμετέχουν οι τιμές του ΥΑ των προϊόντων που υπολογίστηκαν από το μοντέλο παλινδρόμησης δεν μπόρεσε να γίνει διάκριση συνιστωσών στο ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Πίνακας 40: Αναλυτική Παρουσίαση Υδατικού Αποτυπώματος της εφοδιαστικής Αλυσίδας για το έτος 2014

Αντιστοίχιση Τύπων Αργού και ΥΑ για το 2014				
Τύπος Αργού	Όγκος Προμήθειας $I[i]$ (MMbbl)	Χώρα Προέλευσης	ΥΑ $WF_{prod}[i]$ (m^3/bbl)	ΥΑ ($10^6 m^3$)
RAS GHARIB	0,687	Αίγυπτος (2014)	0,600	0,412
VASCONIA	0,210	Κολομβία (2014)	0,220	0,046
ARABIAN LIGHT	0,545	Σαουδική Αραβία	0,172	0,094
BOURI	0,002	Λιβύη (2014)	0,270	0,001
IRANIAN HEAVY	-	Ιράν	0,351	-
IRANIAN LIGHT	-	Ιράν	0,351	-
URAL	12,518	Ρωσία(Ural)	0,240	3,005
WESTERN DESSERT	0,131	Αίγυπτος (2014)	0,600	0,079
KIRKUK	0,241	Ιράκ	0,379	0,091
QARUN	4,754	Αίγυπτος (2014)	0,600	2,852
AZERI LIGHT	0,844	Αζερμπαϊτζάν	0,399	0,337
SARIR	1,059	Λιβύη (2014)	0,270	0,286
KUMKOL	0,065	Καζακστάν (Kumkol)	0,305	0,020
CPC BLEND	5,606	Καζακστάν (CPC Blend)	0,300	1,682
SIBERIAN LIGHT	1,806	Ρωσία(Sib. Light)	0,240	0,433
TENGIZ	0,106	Καζακστάν (Tengiz)	0,310	0,033
SAHARA BLEND	-	Αλγερία (2014)	0,410	-
BASRAH	4,181	Ιράκ	0,379	1,583
AL JURF	0,012	Λιβύη (2014)	0,270	0,003
BASRAH HEAVY	-	Ιράκ	0,379	-
			Συνολικό	10,956
$WF_{bus,sup} = \sum_x \left(\sum_i (WF_{prod}[x, i] \times I[x, i]) \right)$				

Το Υδατικό Αποτύπωμα της εφοδιαστικής αλυσίδας για το έτος 2014 υπολογίστηκε στα $10,956 \cdot 10^6 m^3$.

Πίνακας 41: Αναλυτική Παρουσίαση Υδατικού Αποτυπώματος της εφοδιαστικής Αλυσίδας για το έτος 2015

Αντιστοίχιση Τύπων Αργού και ΥΑ για το 2015				
Τύπος Αργού	Όγκος Προμήθειας $I[i]$ (MMbbl)	Χώρα Προέλευσης	ΥΑ $WF_{prod}[i]$ (m^3/bbl)	ΥΑ ($10^6 m^3$)
RAS GHARIB	-	Αίγυπτος (2015)	0,690	-
VASCONIA	-	Κολομβία (2015)	0,220	-
ARABIAN LIGHT	1,031	Σαουδική Αραβία	0,172	0,177
BOURI	-	Λιβύη (2015)	0,250	-
IRANIAN HEAVY	-	Ιράν	0,351	-
IRANIAN LIGHT	-	Ιράν	0,351	-
URAL	9,211	Ρωσία(Ural)	0,240	2,211
WESTERN DESSERT	0,266	Αίγυπτος (2015)	0,690	0,184
KIRKUK	0,336	Ιράκ	0,379	0,127
QARUN	5,166	Αίγυπτος (2015)	0,690	3,564
AZERI LIGHT	0,742	Αζερμπαϊτζάν	0,399	0,296
SARIR	1,472	Λιβύη (2015)	0,250	0,368
KUMKOL	-	Καζακστάν (Kumkol)	0,350	-
CPC BLEND	3,587	Καζακστάν (CPC Blend)	0,350	1,255
SIBERIAN LIGHT	1,033	Ρωσία(Sib. Light)	0,230	0,238
TENGIZ	0,134	Καζακστάν (Tengiz)	0,350	0,047
SAHARA BLEND	-	Αλγερία (2015)	0,440	-
BASRAH	5,297	Ιράκ	0,379	2,005
AL JURF	-	Λιβύη (2015)	0,250	-
BASRAH HEAVY	0,026	Ιράκ	0,379	0,010
			Συνολικό	10,482
$WF_{bus,sup} = \sum_x \left(\sum_i (WF_{prod}[x, i] \times I[x, i]) \right)$				

Για το έτος 2015 ,το ΥΑ της εφοδιαστικής Αλυσίδας υπολογίστηκε στα $10,482 \cdot 10^6 m^3$.

Πίνακας 42: Αναλυτική Παρουσίαση Υδατικού Αποτυπώματος της εφοδιαστικής Αλυσίδας για το έτος 2015

Αντιστοίχιση Τύπων Αργού και ΥΑ για το 2016				
Τύπος Αργού	Όγκος Προμήθειας $I[i]$ (MMbbl)	Χώρα Προέλευσης	ΥΑ $WF_{prod}[i]$ (m^3/bbl)	ΥΑ ($10^6 m^3$)
RAS GHARIB	-	Αίγυπτος (2016)	0,720	-
VASCONIA	0,108	Κολομβία	0,22	0,024
ARABIAN LIGHT	0,714	Σαουδική Αραβία	0,172	0,123
BOURI	-	Λιβύη (2016)	0,150	-
IRANIAN HEAVY	2,424	Ιράν	0,351	0,850
IRANIAN LIGHT	4,164	Ιράν	0,351	1,460
URAL	8,331	Ρωσία(Ural)	0,220	1,833
WESTERN DESSERT	0,001	Αίγυπτος (2016)	0,720	0,001
KIRKUK	-	Ιράκ	0,379	-
QARUN	6,617	Αίγυπτος (2016)	0,720	4,764
AZERI LIGHT	-	Αζερμπαϊτζάν	0,399	-
SARIR	0,774	Λιβύη (2016)	0,150	0,116
KUMKOL	-	Καζακστάν (Kumkol)	0,310	-
CPC BLEND	4,985	Καζακστάν (CPC Blend)	0,310	1,545
SIBERIAN LIGHT	0,771	Ρωσία(Sib. Light)	0,220	0,170
TENGIZ	0,057	Καζακστάν (Tengiz)	0,310	0,018
SAHARA BLEND	-	Αλγερία (2016)	0,490	-
BASRAH	6,528	Ιράκ	0,379	2,471
AL JURF	0,322	Λιβύη (2016)	0,150	0,048
BASRAH HEAVY	0,596	Ιράκ	0,379	0,226
$WF_{bus,sup} = \sum_x \left(\sum_i (WF_{prod}[x, i] \times I[x, i]) \right)$			Συνολικό	13,646

Και για το έτος 2016 υπολογίστηκε στα $13,646 \cdot 10^6 m^3$ και καταγράφει τη μεγαλύτερη τιμή για τα τρία έτη.

6.4 Σύγκριση Υδατικών Αποτυπωμάτων Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Καθώς οι ποσότητες αργού που κατεργάστηκαν οι ΒΕΑ δεν παραμείνουν σταθερές ανά έτος, θα μπορέσει να γίνει μία ποιοτική εκτίμηση των μεταβολών του ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας τα τρία αυτά έτη, αν αυτό αναχθεί ανά μονάδα εισαγόμενου αργού στη βιομηχανία.

Πίνακας 43: Μεταβολές ΥΑ ανηγμένων ανά μονάδα εισαγόμενου αργού

Υδατικό Αποτύπωμα ανά προμήθεια	2014	2015	2016
Προμήθεια Αργών (MMbbl)	32,768	28,300	36,392
Υδατικό Αποτύπωμα ($10^6 m^3$)	10,956	10,482	13,646
Υδατικό Αποτύπωμα (m^3/bbl)	0,334	0,370	0,375

Από τον πίνακα παρατηρείται μία σταθερή αύξηση του ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα έτη 2015 και 2016 δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους με το τελευταίο να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή. Το έτος 2014 κατέχει τη μικρότερη τιμή με το ΥΑ ανά βαρέλι εισαγόμενου αργού να υπολογίζεται στα 0,334 m³/bbl.

Για να μπορούν να αξιολογηθούν οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στον πίνακα απαιτείται διερεύνηση της συμμετοχής του κάθε αργού στην τελική τιμή του ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι παρατηρήσεις αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 44 που ακολουθεί.

Πίνακας 44: Ποσοστά συμμετοχής εκάστοτε αργού στις προμήθειες και στο ΥΑ

Ποσοστά Συμμετοχής	2014		2015		2016	
	ΥΑ	Προμήθειες %	ΥΑ	Προμήθειες %	ΥΑ	Προμήθειες %
RAS GHARIB	3,76	1,98	-	-	-	-
VASCONIA	0,42	0,60	-	-	0,17	0,28
ARABIAN LIGHT	0,86	1,65	1,69	3,62	0,90	1,95
BOURI	0,01	0,01	-	-	-	-
IRANIAN HEAVY	-	-	-	-	6,23	6,48
IRANIAN LIGHT	-	-	-	-	10,70	11,39
URAL	27,42	37,27	21,09	31,79	13,43	22,41
WESTERN DESSERT	0,72	0,42	1,75	0,98	-	-
KIRKUK	0,83	0,74	1,21	1,19	-	-
QARUN	26,03	14,62	34,01	18,42	34,91	18,39
AZERI LIGHT	3,08	2,59	2,83	2,64	-	-
SARIR	2,61	3,30	3,51	5,31	0,85	2,18
KUMKOL	0,18	0,20	-	-	-	-
CPC BLEND	15,35	18,32	11,98	13,59	11,32	14,72
SIBERIAN LIGHT	3,96	5,53	2,27	3,66	1,24	2,13
TENGIZ	0,30	0,34	0,45	0,51	0,13	0,17
SAHARA BLEND	-	-	-	-	-	-
BASRAH	14,45	12,40	19,13	18,21	18,11	17,49
AL JURF	0,03	0,03	-	-	0,35	0,87
BASRAH HEAVY	-	-	0,09	0,09	1,65	1,55

Σε γενικές γραμμές παρατηρείται μία συμφωνία των προμηθειών και της συνεισφοράς των αντίστοιχων αργών στο ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας των ΒΕΑ. Αξιοσημείωτες είναι οι διαφορές που παρατηρούνται στα αργά που προέρχονται από τις περιοχές της Αιγύπτου και της Ρωσίας. Αυτό μπορεί να το δει κάνεις εύκολα στα αργά Ural και Qarun που κάθε χρονιά αντιπροσωπεύουν μεγάλο ποσοστό των προμηθειών.

Από τη μία, το αργό Ural προέρχεται από τη ρωσική εταιρεία Rosneft, η οποία παρουσιάζει χαμηλό ΥΑ ανά βαρέλι αργού που παράγει, με αποτέλεσμα, πάρα τις υψηλές ποσότητες που προμηθεύει, να μειώνει αισθητά τη συμμετοχή της στο συνολικό ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Από την άλλη, το Qarun προέρχεται από την Αίγυπτο, η οποία αντιπροσωπεύεται από την εταιρεία Apache. Στο αργό αυτό έχει αποδοθεί υψηλό ΥΑ και έτσι συνεισφέρει πολύ στο ΥΑ της εφοδιαστικής, με το 2014 να παρουσιάζει παραπλήσια συμμετοχή με το Ural παρά τις διαφορές τους στις ποσότητες.

Τα έτη 2015 και 2016 το αργό Qarun συμμετέχει με σημαντικά μεγαλύτερα ποσοστά στις προμήθειες του έτους ενώ το CPC Blend και Ural έχουν μειώσει τη συμμετοχή τους. Ο συνδυασμός αυτών των δύο γεγονότων οδηγεί και στην αύξηση του ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας που παρατηρήθηκε.

6.5 Συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των ΒΕΑ για τα έτη 2014 και 2015

Από τη Διπλωματική Εργασία της Μελισσάνθης -Χρυσάνθης Παπαθεοδώρου [46] εξήχθησαν τα Λειτουργικά Υδατικά Αποτυπώματα των ΒΕΑ που είχε υπολογίσει για τα έτη 2014 και 2015. Στην έρευνα της δε συμμετείχε η πράσινη συνιστώσα του ΥΑ, ενώ η γκρι συνιστώσα του λειτουργικού ήταν μηδενική, μιας που οι ΒΕΑ επεξεργάζονται τα υγρά απόβλητα και τα αποθέτουν στη θάλασσα σε συγκεντρώσεις μικρότερες από τα περιβαλλοντικά όρια που ορίζει η νομοθεσία για κάθε ρύπο..

Το συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα των Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων Ασπροπύργου των ΕΛΠΕ για τα δύο έτη, που υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση 1 (§3.1) και αποτελεί το άθροισμα της εφοδιαστικής αλυσίδας και του λειτουργικού ΥΑ παρατίθεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 45: Αποτύπωση του ΥΑ για τις Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Ασπροπύργου για τα έτη 2014-2015

Υδατικό αποτύπωμα ΒΕΑ	2014			2015		
	Υ.Α. (10 ⁶ m ³)	Υ.Α. (m ³ /bbl)	Ποσοστό (%)	Υ.Α. (10 ⁶ m ³)	Υ.Α. (m ³ /bbl)	Ποσοστό (%)
Λειτουργικό	3,180	0,097	22,49	3,868	0,137	26,95
Εφοδιαστική Αλυσίδα	10,956	0,334	77,51	10,482	0,370	73,05
Συνολικό	14,136	0,431	100,00	14,350	0,507	100,00

Το λειτουργικό ΥΑ και αυτό της εφοδιαστικής αλυσίδας παρουσιάζουν διαφορές από έτος σε έτος. Το 2015 το λειτουργικό μετρήθηκε σε μεγαλύτερη τιμή από αυτό του 2014. Το γεγονός αυτό, σύμφωνα με τη μελέτη της κα. Παπαθεοδώρου, οφείλεται σε αυξημένο έμμεσο (overhead) λειτουργικό ΥΑ, δηλαδή από τομείς εστιατορίων, αποδυτηρίων, πυρασφάλειας κ.α. Το Αποτύπωμα της εφοδιαστικής αλυσίδας σε μονάδες όγκου είναι μικρότερο το 2015 εξαιτίας των λιγότερων ποσοτήτων αργού που κατεργάστηκαν το έτος αυτό. Αποτέλεσμα, των παραπάνω είναι η μικρή διαφορά του συνολικού ΥΑ τα δύο αυτά έτη. Το συνολικό Υδατικό Αποτύπωμα σε όρους m³/bbl παρουσιάζει μικρότερη τιμή το 2014 και οφείλεται στη μικρότερη τιμή που αποδόθηκε στην εφοδιαστική αλυσίδα για το έτος αυτό.

7. Συμπεράσματα

7.1 Συμπεράσματα για το ΥΑ εφοδιαστικής αλυσίδας των ΒΕΑ

Αρχικά, παρατηρήθηκε μία άμεση συνάρτηση των ποσοτήτων που κατεργάζονται οι ΒΕΑ και κατ' επέκταση της δυναμικότητας τους με το ΥΑ που τους αποδίδεται. Το γεγονός αυτό, παρότι δεν είναι εμφανές στο λειτουργικό αποτύπωμα, παρουσιάζεται σε αυτό της εφοδιαστικής αλυσίδας του και στο συνολικό για κάθε χρονιά. Το έτος 2015 που υπήρξε η παύση των εργασιών εμφανίζεται το μικρότερο ΥΑ εφοδιαστικής αλυσίδας στα 10,5 Mm³, ενώ το λειτουργικό παρουσιάζεται υψηλότερο από το 2014, καθώς αυτό δεν αποδίδεται σε ΥΑ που αφορά σε παραγωγή προϊόντων. Το έτος 2016 με τη μεγαλύτερη δυναμικότητα παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή για το ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας στα 13,6 Mm³.

Η εικόνα αλλάζει, όταν συγκρίνει κανείς τα ΥΑ της εφοδιαστικής αλυσίδας ανά ποσότητα αργού που προμηθεύτηκε κάθε χρόνια και μόνο με αυτή τη σκοπιά μπορούν να συγκριθούν ουσιαστικά τα ΥΑ. Το 2014 παρουσιάστηκε η μικρότερη τιμή στα 0,334 m³/bbl και σταθερά η τιμή αυξάνεται, καθώς αυξάνεται και η συμμετοχή αργών που παρουσιάζουν υψηλές τιμές ΥΑ στη περίπτωση του Qarun. Η τάση αυτή μεταφέρθηκε και στο συνολικό ΥΑ ανά βαρέλι αργού, όπου και αυτό παρουσίασε σταδιακή αύξηση.

Συγκεκριμένα, το συνολικό ΥΑ των ΒΕΑ για τα έτη 2014 και ανά μονάδα αργού που κατεργάστηκε η βιομηχανία διαμορφώθηκε στα 0,431m³/bbl και 0,507m³/bbl για το 2015. Οι τιμές αυτές είναι απομακρυσμένες από το μέσο όρο που παρουσίασαν οι Gerber-Leenes (Πίνακας 7,§4.5) στα 6,61m³/bbl. Υπενθυμίζεται ότι η τιμή αυτή διαμορφώθηκε με παραδοχές, όπως κανένα ποσοστό κατανάλωσης για επανάχρηση και με χρήση των πιο δαπανηρών μεθόδων ανάκτησης. Μία άλλη προσέγγιση θα μπορούσε να γίνει με χρήση της μετριοπαθούς και συχνά εφαρμόσιμης ΒΜΑ έγχυσης με ατμό (0,88 m³/bbl), διύλισης (0,28 m³/bbl) και άλλων εργοστασιακών λειτουργιών του (0,44 m³/bbl) όπου η τιμή διαμορφώνεται στα 1,60 m³/bbl. Η τιμή αυτή είναι πιο κοντά στα αποτελέσματα ειδικά, αν υποθεθεί μία επανάχρηση 30% και ένας συντηρητικός βαθμός επεξεργασίας αποβλήτων 30% και διαμορφωθεί στα 0,64m³/bbl.

Για τις δύο χρονιές όπου υπάρχει συνολική αποτύπωση του ΥΑ, η εφοδιαστική αλυσίδα είναι υπεύθυνη για τα τρία τέταρτα του συνολικού Αποτυπώματος. Το γεγονός αυτό είναι σε συμφωνία με τη βιβλιογραφία [10], καθώς η εφοδιαστική αλυσίδα για μία επιχείρηση συνεισφέρει πολύ περισσότερο στο ΥΑ από ότι το λειτουργικό.

Ακόμα, συμφωνεί με την αναλογία που παρατηρείται στα ΥΑ του πίνακα 7 (§4.5) που αποδίδονται για τη παραγωγή αργού και για τη διύλιση, αν θεωρήσουμε ότι και οι δύο επιχειρήσεις, αυτή της παραγωγής και αυτή της διύλισης, έχουν όμοιο έμμεσο ΥΑ και επεξεργάζονται και αποθέτουν την ίδια ποσότητα υγρών αποβλήτων με παρόμοιες απαιτήσεις νερού για αραίωση.

7.2 Συμπεράσματα για το ΥΑ επιχειρήσεων παραγωγής αργού πετρελαίου

Όπως ήταν αναμενόμενο, τα ΥΑ αποτυπώματα που υπολογίστηκαν για την κάθε εταιρεία προμήθευσης παρουσίασαν μεγάλες διακυμάνσεις. Η διακύμανση αυτή μπορεί να αποδοθεί και στα διαφορετικά κοιτάσματα τα οποία η κάθε μια εκμεταλλεύεται. Διαφορετικά κοιτάσματα απαιτούν και διαφορετικούς τρόπους εξόρυξης όπου η κάθε μία καταναλώνει άλλες ποσότητες νερού.

Αναφορικά, η εταιρεία Rosneft, με ώριμα κοιτάσματα, θα απαιτεί εκτεταμένη χρήση EOR για την εκμετάλλευσή τους. Οι βελτιωμένες μέθοδοι εκτός εξαιρέσεων (έγχυση μικυλλιακού πολυμερούς) σύμφωνα με τους Gerber-Leenes et al έχουν μικρό ΥΑ σε σχέση με τη συμβατική δευτερογενή ανάκτηση. Η εταιρεία παρουσιάζει χαμηλά ΥΑ(0,22-0,25m³/bbl).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η επανάχρηση του παράγωγου νερού της εταιρείας Wintershall συμβάλλει στη μείωση του συνολικού ΥΑ της κατά 51% για το έτος 2014 και από 0,22m³/bbl που θα ήταν το ΥΑ της τελικά υπολογίζεται στα 0,15m³/bbl.

Μέσω της έρευνας που έγινε για την ανάπτυξη του μοντέλου παλινδρόμησης παρουσιάστηκε μεγάλη συσχέτιση του Υδατικού Αποτυπώματος επιχειρήσεων που ασχολούνται με την παραγωγή αργού με την οικονομική κατάσταση μίας χώρας, αλλά και με τα αποθέματα νερού της. Αυτό αντιπροσωπεύεται από τις μεταβλητές κατά κεφαλήν ΑΕΠ, και συνολικά εσωτερικά αποθέματα νερού, ενώ αναλύεται με το δείκτη SDG 6.4.2 Water Stress.

Αρχικά, χώρες με υψηλό ΑΕΠ, όπως Ρωσία και Σαουδική Αραβία και Καζακστάν, παρουσιάζουν χαμηλό ΥΑ. Η Ρωσία και το Καζακστάν, από τη μία, έχουν πολλά αποθέματα νερού, ενώ η Σαουδική Αραβία παρουσιάζει ένα από τα υψηλότερα επίπεδα έλλειψης νερού (water stress) παγκοσμίως. Το φαινόμενο αυτό μπορεί ερμηνευθεί από το γεγονός ότι οι χώρες αυτές έχουν την οικονομική ευχέρεια να επενδύσουν σε τεχνολογίες εξοικονόμησης υδάτινων πόρων.

Με την ίδια λογική σε χώρες με χαμηλό ΑΕΠ, όπως η Αλγερία, Αίγυπτος, Ιράν, Ιράκ και Αζερμπαϊτζάν, οι οποίες παρουσιάζουν ίδιας τάξης επίπεδα έλλειψης νερού (water stress) καταγράφονται τα υψηλότερα ΥΑ. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί από το γεγονός ότι το νερό, παρότι δεν βρίσκεται σε αφθονία δεν αποτελεί κίνητρο για την αναβάθμιση των μεθόδων και της εξοικονόμησης.

Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα είναι η περίπτωση της Λιβύης με χαμηλό ΥΑ, όπως και η σύγκριση της με τις υπόλοιπες χώρες. Η χώρα αυτή εμφανίζει μαζί με τη Σαουδική Αραβία ένα από τα μεγαλύτερα επίπεδα έλλειψης νερού (water stress) παγκοσμίως, ενώ το ΑΕΠ της χαρακτηρίζεται χαμηλό και παραπλήσιο με των Αιγύπτου, Ιράν κ.α. Παρότι η χώρα δεν έχει οικονομικούς πόρους που να δικαιολογούν την επένδυση σε νέες τεχνολογίες και αναβαθμίσεις, η έλλειψη νερού είναι τόσο μεγάλη που η εξοικονόμηση είναι πια ανάγκη.

Τέλος, παρατηρήθηκε ότι τα αποθέματα αργού πετρελαίου μίας χώρας δεν επηρεάζουν το ΥΑ αποτύπωμα. Η Σαουδική Αραβία και η Ρωσία, χώρες που κυριαρχούν στο ύψος ετήσιας παραγωγής, για παράδειγμα, παρουσιάζουν χαμηλά ΥΑ. Το ίδιο δεν ισχύει για το Ιράν και το Ιράκ που, παρόλο που παρουσιάζουν και αυτά υψηλές παραγωγές, τους αποδίδονται υψηλά ΥΑ.

Κατά την έρευνα για την εκπόνηση της εργασίας αυτής και στην αναζήτηση κατάλληλων εξαρτημένων μεταβλητών για την εξαγωγή του μοντέλου υπήρχε δυσκολία να εντοπιστούν δεδομένα νερού για όλες τις χώρες της μελέτης, όπως για παράδειγμα, τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα νερού της κάθε χώρας, απολήψεις νερών, βαθμός επεξεργασίας λυμάτων κ.α., ενώ σε άλλες πολλές φορές δεν υπήρχαν δεδομένα νέων ετών. Επιθυμητό θα ήταν, μιας που το θέμα διαχείρισης των υδάτινων πόρων παρουσιάζει ενδιαφέρον και κίνδυνους τα τελευταία χρόνια, να υπάρχει μία συστηματική καταγραφή των τιμών και της εξέλιξής τους.

Ακόμα, πρέπει να αναφερθεί ότι υπήρξε μεγάλη δυσκολία στην εύρεση δεδομένων από τις εταιρείες, ικανών να συμμετέχουν στο Υδατικό Αποτύπωμα. Κρατικές εταιρείες παραγωγής πετρελαίου που συμμετέχουν στον OPEC, όπως αυτής της Σαουδική Αραβία, Ιράν, Ιράκ, Αιγύπτου κ.α. δε δημοσιοποιούν εκθέσεις βιωσιμότητας ή σε αυτές δεν παρουσιάζουν καθόλου δεδομένα νερού.

Τέλος, στις διάφορες εταιρείες από τις οποίες βρέθηκαν εκθέσεις, σε αυτές τα δεδομένα που περιλαμβάνονταν δεν παρουσίαζαν ομοιογένεια. Ο ΟΗΕ μέσω του Οικονομικού Συμφώνου (UN Global Compact) παρουσιάζει συγκεκριμένες οδηγίες για τη σύνταξη των μελετών [47], περιγράφει επιμελώς τα δεδομένα που πρέπει να συμπεριλαμβάνονται σε αυτές, ενώ ωθεί τις εταιρείες να συμμετέχουν στην εξαγωγή εκθέσεων δεδομένων νερού [48]. Με τον τρόπο αυτό θα υπάρχει ενημέρωση, διαφάνεια και κίνητρα για την ορθολογική διαχείριση του πόρου.

8. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Ο δείκτης του Υδατικού Αποτυπώματος από τη φύση του είναι δυναμικός και αδυνατεί να περιγράψει προϊόντα διεργασίες, επιχειρήσεις κ.α. σε βάθος χρόνου. Αυτό οφείλεται σε πολλούς λόγους. Με τον καιρό, οι τεχνολογίες, το κλίμα, τα κίνητρα και άλλοι κοινωνικοί, οικονομικοί και πολιτισμικοί παράγοντες μεταβάλλονται, μαζί με αυτά και το ΥΑ [10]. Με τη λογική αυτή ο υπολογισμός του θα παρουσιάζει πάντα μεταβολές και θα χρήζει εκ νέου διερεύνησης.

Ως παράδειγμα αναφέρεται η φυσική εξέλιξη των κοιτασμάτων. Καθώς τα κοιτάσματα θα εξαντλούνται, θα παράγουν όλο και περισσότερες ποσότητες νερού με φυσικό αποτέλεσμα την αύξηση της γκρι συνιστώσας του ΥΑ, αν αυτό δεν επεξεργάζεται πριν την απόρριψη του ή αν οι αποδέκτες είναι κακής ποιότητας. Οι μέθοδοι ανάκτησης θα αλλάζουν, καθώς θα πρέπει να επιτύχουν ακόμα μεγαλύτερες ανακτήσεις με αποτέλεσμα την πιθανή αύξηση της μπλε συνιστώσας.

Παρόλα αυτά, υπάρχει πάντα περιθώριο βελτίωσης των μετρήσεων που ήδη υπάρχουν. Αρχικά, η εργασία αυτή καλύπτει την εφοδιαστική αλυσίδα των ετών 2014-2016. Παρότι δανείστηκε μετρήσεις λειτουργικού ΥΑ για τα δύο πρώτα έτη, δεν υπάρχει κάποια τιμή που να αποδίδεται στο 2016.

Στη συνέχεια, δεν ήταν δυνατή η εξαγωγή δεδομένων για όλους τους προμηθευτές των ΒΕΑ. Καθώς ο καιρός περνά, όλο και παραπάνω εταιρείες συμμετέχουν στο Οικονομικό Σύμφωνο του ΟΗΕ, με αποτέλεσμα μελλοντικά να είναι πιθανή η ακριβής μέτρηση του δείκτη. Το γεγονός αυτό υποστηρίζεται και από τις μεταβολές που παρατηρήθηκαν στις διάφορες εκθέσεις βιωσιμότητας που χρησιμοποιεί η εργασία αυτή. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι οι εκθέσεις που εκδόθηκαν τα τελευταία έτη ήταν πάντα πιο επεξηγηματικές, ενώ περιείχαν πληροφορίες που απουσίαζαν και πολλές φορές διορθώσεις που αφορούσαν στα προηγούμενα.

Καθώς όλο και περισσότερες εταιρείες συμμετέχουν στο Οικονομικό Σύμφωνο, αλλά και από τις ήδη υπάρχουσες εκθέσεις βιωσιμότητας εταιρειών που δε συμμετέχουν στο μείγμα προμήθειας των ΕΛΠΕ, θα μπορούσε ένας μελλοντικός ερευνητής να εξάγει παραπάνω σημεία εισαγωγής για δημιουργία καινούργιου μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης ή ακόμα παλινδρόμησης ridge με σκοπό την καλύτερη προσαρμογή.

Εναλλακτικά, αν μελλοντικά παρατηρηθεί επίκαιρη και αναλυτική σε βάθος χρόνου μέτρηση μεταβλητών που είτε χρησιμοποιήθηκαν είτε θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη του ΥΑ, θα μπορούσε να επιτευχθεί καλύτερη προσαρμογή και πιο σωστή περιγραφή εταιρειών και αργών. Από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν είναι ο δείκτης SDG.4.6.2, όπου δεν υπήρχαν δεδομένα για την πρόοδο του δείκτη τα τελευταία χρόνια και τα συνολικά υδατικά αποθέματα, ενώ δεν ήταν δυνατή η λήψη στοιχείων αποθέσεων υδατικών αποβλήτων είτε γενικών είτε ανά δραστηριότητα, καθώς δεν υπήρχαν στη βάση δεδομένων στοιχεία για όλες τις χώρες.

Μία ακόμα πρόταση θα ήταν, αν αποκτηθεί πρόσβαση σε δεδομένα έκτασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων για όλες τις χώρες που ερευνώνται να εξαχθεί μία ανάλυση βασισμένη στη διαδικασία που χρησιμοποίησαν οι Mekonnen και Hoekstra (§3.2) για τον υπολογισμό των βιομηχανικών καταναλώσεων νερού σε κάθε χώρα και αυτό το υδατικό αποτύπωμα να αποδοθεί στα εκάστοτε αργά. Αυτή η μέθοδος θα ήταν αντιπροσωπευτική για χώρες που η βιομηχανική τους δραστηριότητα βασίζεται κυρίως στην παραγωγή πετρελαίου, όπως η Σαουδική Αραβία που η παραγωγή αυτή κυριαρχεί στη βιομηχανική υδατική τους κατανάλωση. Ακόμα, η μέθοδος θα επιτρέψει και την ανάλυση σε γκρι και μπλε συνιστώσες.

Επιπλέον, για τους υπολογισμούς του κάθε ΥΑ έγιναν παραδοχές που, όπως έχουν αποδειχθεί και σε παραπάνω κεφάλαιο (§4), το επηρεάζουν σημαντικά. Μία από αυτές είναι η θεώρηση ότι για την παραγωγή αργού είτε αυτό κατατάσσεται στις κατηγορίες ελαφρύ ή βαρύ (ως το ειδικό βάρος API) απαιτείται ίδια κατανάλωση

νερού. Σε μία άλλη έρευνα θα μπορούσε να προσμετρήσει κανείς τη διαφορά αυτή και να την αφομοιώσει στο ΥΑ.

Άλλη παραδοχή ήταν το ότι οι απορρίψεις των υγρών αποβλήτων της κάθε εταιρείας συμμετείχαν στο 100% για τη διαμόρφωση της γκρι συνιστώσας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υποτίμηση της, αν ο βαθμός της επεξεργασίας τους από την εταιρεία δεν είναι στα θεωρούμενα επίπεδα ή η ποιότητα του αποδέκτη είναι χαμηλή. Μια προτεινόμενη οδός προκύπτει από τους υπολογισμούς των Mekonnen και Hoekstra §3.2, που μείωσαν τη γκρι συνιστώσα με βάση την έκταση της επεξεργασίας αποβλήτων σε εθνικό επίπεδο.

Τέλος, κατά την εργασία αυτή ήταν δεν ήταν δυνατή η ανάλυση του ΥΑ σε διαφορετικές συνιστώσες. Αυτό συνέβη είτε λόγω απουσίας δεδομένων, όπως στην περίπτωση της γκρι συνιστώσας, είτε τέθηκε εκτός πλαισίων λόγω ενδελεχούς έρευνας που έπρεπε να γίνει. Το τελευταίο αφορά όχι μόνο στη γκρι που αναφέρθηκε αλλά και στη μη καταγραφή της πράσινης συνιστώσας.

Μία μελλοντική έρευνα είτε θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει δεδομένα εταιρειών, αν σε αυτά συμμετέχει το βρόχινο νερό, είτε, για παράδειγμα, να καταγράφουν δεδομένα βροχοπτώσεων της κάθε περιοχής δραστηριότητας, να θεωρηθεί ένα ποσοστό επένδυσης των εταιρειών για τη συλλογή του βρόχινου νερού και στη συνέχεια αυτό να αποδοθεί στις απολήψεις της εταιρείας.

9. Βιβλιογραφία

- [1] C. A. Scott, S. A. Pierce, M. J. Pasqualetti, A. Jones, B. Montz και J. Hoover, «Policy and institutional dimensions of the water–energy nexus,» *Energy Policy*, (39:10), pp. 6622-6630, 2011, www.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.08.013.
- [2] A. Siddiqi και L. D. Anadon, «The water–energy nexus in Middle East and North Africa,» *Energy Policy*,(39:8), pp. 4529-4540, 2011, www.doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.023.
- [3] A. M. R. Carrilloa και C. Frei, «Water: A key resource in energy production,» *Energy Policy*, (37:11), pp. 4303-4312, 2009, www.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.074.
- [4] International Energy Agency, «World Energy Outlook 2012;Executive Summary,» International Energy Agency.
- [5] UN Water, «Sustainable Development Goal 6:Synthesis Report on Water and Sanitation,» United Nations, 2018 , www.unwater.org/publications/highlights-sdg-6-synthesis-report-2018-on-water-and-sanitation-2.
- [6] UN Water, «Water,a shared responsibility,» United Nations, 2006 , <http://www.unesco.org/water/wwap>.
- [7] E. A. Ercin και A. Hoekstra, «Carbon and Water Footprints: Concepts, methodologies and policy responses,» United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), France, 2012.
- [8] Y. Wada και M. F. P. Bierkens, «Sustainability of global water use: past reconstruction and future projections,» *Environ. Research Letters* (9:10), p. 17, 2014 , www.doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/104003.
- [9] Κ. Δ., Α. Ανδρεαδάκης, Μ. Ρ, Α. Χριστοφίδης, Μ. Ν, Α. Ευστρατιάδης, Α. Κουκουβίνος, Γ. Καραβοκυρός, Σ. Κοζάνης, Δ. Μαμάης και Κ. Νουτσόπουλος, «Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων,» Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, 2008 , www.doi.org/10.13140/RG.2.2.25384.62727.
- [10] A. Hoekstra, A. Chapagain, M. Aldaya και M. Mekonnen, *Water Footprint Assessment Manual*, London-Washington DC: Earthscan, 2011, pp. 2,3,14,63.
- [11] A. Chapagain και S. Orr, «An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes,» *Journal of Environmental Management* (90:2), pp. 1219-1228, 2009, www.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.06.006.
- [12] H. A. Y, C. A. K και V. O. P. R, «Advancing Water Footprint Assessment Research:Challenges in Monitoring Progress towards Sustainable Development Goal 6,» *Water* (9:438), 2017 , www.doi.org/10.3390/w9060438.
- [13] M. Mekonnen και A. Hoekstra, «National Water Footprint Accounts:The green, blue and grey water footprint of production and consumption,» UNESCO-IHE Institute for Water Education,Value of Water Research Report Series No. 50,, The Netherlands, 2011.

- [14] C. Jin, K. Huang, Y. Yu και Y. Zhang, «Analysis of Influencing Factors of Water Footprint Based on the STIRPAT Model: Evidence from the Beijing Agricultural Sector,» *Water*,(8:11), p. 513, 2016 , www.doi.org/10.3390/w8110513.
- [15] B. Liddle και S. Lung, *S. Popul Environ (31:5)*, pp. 317-343, 2010 , www.doi.org/10.1007/s11111-010-0101-5.
- [16] I. Martínez-Zarzosoab και A. Maruottic, «The impact of urbanization on CO2 emissions: Evidence from developing countries,» *Ecological Economics (70:7)*, pp. 1344-1353, 2011 , www.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.02.009.
- [17] I. Madu, «The impacts of anthropogenic factors on the environment in Nigeria,» *Journal of Environmental Management (90:3)*, pp. 1422-1426, 2009, www.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.08.009.
- [18] Oil and Gas Middle East, «Top ten: Oil producing companies in the world,» www.oilandgasmiddleeast.com, 27.8.2015.
- [19] U.S. Energy Information Administration, www.eia.gov.
- [20] I. Mustafar, Razali και Rad., «A Study on Prediction of Output in Oilfield Using Multiple Linear Regression,» *International Journal of Applied Science and Technology (1:4)*, 2011.
- [21] D. Håvard, *Oil and Gas Production Handbook; An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry*, ABB Oil and Gas, 2013.
- [22] WaterReuse Association, «Water Reuse in th Oil and Gas Industry,» *WaterReuse Association Webcast Series*, 2014, www.watereuse.org/wp-content/uploads/2015/09/oil-and-gas_webcast.pdf.
- [23] John Veil, Veil Environmental, LLC, «US Produced Water Volumes and management practices in 2012,» 2015 , www.gwpc.org/sites/default/files/.../Veil_John_4.pdf.
- [24] K. Rambo, D. Warsinger, S. Shanbhogue, J. H. Lienhard V και A. Ghoniem, «Water-Energy Nexus in Saudi Arabia,» *Energy Procedia 105*, pp. 3837-3843, 2017, www.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.782.
- [25] M. A. Soliman, T. Al-Zahrani, M. Al-Qallaf, S. Salu και N. Ansari, «Innovative Approach to Treat Produced Water for Re-Use in Saudi Aramco Reservoirs Pressure Maintenance,» *Society of Petroleum Engineers*, 2016, www.doi.org/10.2118/183340-MS.
- [26] M. Wu, M. Mintz, M. Wang, S. Arora και Y. Chiu, «Consumptive Water Use in the Production of Ethanol and Petroleum Gasoline,» *Environmental management*, 2009, www.doi.org/44.981-97.10.1007/s00267-009-9370-0.
- [27] Β. Βασιλειος, «Πετρέλαιο Εξόρυξη και Διύλιση, Πτυχιακή Εργασία,» Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών ,ΤΕΙ Πειραιά, 2016.
- [28] A. Muggeridge, A. Cockin, K. Webb, H. Frampton, I. Collins, T. Moulds και S. P, «Recovery rates, enhanced oil recovery and technological limits,» *Phil. Trans.R. Soc. A 372: 20120320*, 2014, www.doi.org/10.1098/rsta.2012.0320.

- [29] W. Gerbens-Leenes, A. Y. Hoekstra και T. H. van der Meer, «The water footprint of bioenergy and other primary energy carriers,» PublisherUnesco-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands, 2008.
- [30] P. Gleick, *Water and Energy*, Annual Reviews Energy Environment, 19:267–299., 1994.
- [31] L. G. Carmona, K. Whiting και A. Carrasco, «The Water Footprint of Heavy Oil Extraction in Colombia: A Case Study,» *Water*, (9:340), 2017, www.doi.org/10.3390/w9050340.
- [32] Ελληνικά Πετρέλαια, «Απολογισμός Βιώσιμης Ανάπτυξης και Εταιρικής Κοινωνικής Ευθύνης,» 2016 , www.help.gr.
- [33] Ελληνικά Πετρέλαια, «www.help.gr».
- [34] Rosneft, «Annual Report,» 2014-2017 ,www.rosneft.com.
- [35] Rosneft, «Sustainability Report,» 2014-2017 ,www.rosneft.com.
- [36] KazMunayGas, «Annual Rerort,» 2014-2016 ,www.kmg.kz.
- [37] KazMunayGas, «Sustainability Report,» 2014-2016,www.kmg.kz.
- [38] Qarun Petroleum Company, «<http://www.qarun.net>».
- [39] Apache Corporation, «Summary Annual Report,» 2015-2017 ,www.apachecorp.com.
- [40] Apache Corporation, «Sustainability Report,» 2015-2017 ,www.apachecorp.com.
- [41] Sonatrach, «Rapport Annuel,» 2014 ,www.sonatrach.com.
- [42] Cepsa, «Annual and Corporate Responsibility Report,» 2014-2016,www.cepsa.com.
- [43] Wintershall, «Annual Report,» 2015, www.wintershall.com.
- [44] Wintershall, «Corporate Responsibility Report,» 2014-2016, www.wintershall.com.
- [45] <https://www.wintershall.com/technology-innovation/enhanced-oil-recovery/steam-flooding.html>.
- [46] Μ.-Χ. Παπαθεοδώρου, «Υπολογισμός Υδατικού Αποτυπώματος σε Βιομηχανία Διύλισης Πετρελαίου,» Διπλωματική Εργασία Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα, 2017.
- [47] Global Reporting Initiative, United Nations Global Compact, «Integrating the Sustainable Development Goals into Corporate Reporting: A Practical Guide,» 2018.
- [48] CDP, Pacific Institute, United Nations Global Compact, World Resources Institute, «Corporate Water Disclosure Guidelines: Toward a Common Approach to Reporting Water Issues,» *The CEO water Mandate*, 2014.
- [49] «<http://www.stat.yale.edu/Courses/1997-98/101/stat101.htm>,» [Ηλεκτρονικό].

Ευρετήριο όρων-συμβόλων

Συντομεύσεις -Abbreviations

BEA.....	Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Ασπροπύργου
BMA.....	Βελτιωμένες Μέθοδοι Εξόρυξης
ΕΛΠΕ.....	Ελληνικά Πετρέλαια
ΥΑ.....	Υδατικό Αποτύπωμα
HELPE.....	Hellenic Petroleum
CEPSA.....	Compañia Española de Petróleos
EGPC.....	Egyptian General Petroleum Company
EOR.....	Enhanced Oil Recovery
E & P.....	Exploration & Production
KMG.....	KazMunayGas
NIOC.....	National Iranian Oil Company
NOC.....	National Oil Company(Libya)
OPEC.....	Organization of the Petroleum Exporting Countries
SOMO.....	State Organization for Marketing of Oil (Iraq)
SR.....	Secondary Recovery
UN.....	United Nations
USA.....	United States of America
WF.....	Water Footprint

Σύμβολα-Symbols

<i>I</i>	Ποσότητα προμηθευόμενου προϊόντος
<i>P</i>	Ποσότητα παραγόμενου προϊόντος
<i>WF_{bus}</i>	Υδατικό Αποτύπωμα επιχείρησης
<i>WF_{bus,oper}</i>	Λειτουργικό Υδατικό Αποτύπωμα επιχείρησης
<i>WF_{bus,sup}</i>	Υδατικό Αποτύπωμα εφοδιαστικής αλυσίδας επιχείρησης
<i>WF_{bus,oper}</i>	Λειτουργικό Υδατικό Αποτύπωμα
<i>WF_{bus,oper,inputs}</i>	Λειτουργικό Υδατικό Αποτύπωμα για τη παραγωγή προϊόντων επιχείρησης
<i>WF_{bus,oper,overhead}</i>	Έμμεσο λειτουργικό Υδατικό Αποτύπωμα επιχείρησης
<i>WF_{bus,sup,inputs}</i>	Υδατικό Αποτύπωμα για τη παραγωγή προϊόντων εφοδιαστικής αλυσίδας επιχείρησης
<i>WF_{bus,sup,overhead}</i>	Έμμεσο Υδατικό Αποτύπωμα εφοδιαστικής αλυσίδας επιχείρησης
<i>WF_{prod}</i>	Υδατικό Αποτύπωμα προϊόντος

Μονάδες-Units

bbbl.....	US βαρέλια, US barrels
BPSD.....	Barrels per Stream day
kg.....	Κιλά, kilograms
L.....	Λίτρα, Liters
m^3	Κυβικά μέτρα, cubic meters
Mm^3	Εκατομμύρια Κυβικά μέτρα, million cubic meters
MMbbl.....	Εκατομμύρια US βαρέλια, million barrels
MMboe.....	Εκατομμύρια βαρέλια ισοδύναμου πετρελαίου, million Barrels of Oil Equivalent
MMT.....	Εκατομμύρια μετρικοί τόνοι, million metric tones

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Υδατικά Αποθέματα Ελλάδας και Απολήψεις για το έτος 2007	10
Πίνακας 2: Στόχοι για βιώσιμη ανάπτυξη 6.3 και 6.4.....	15
Πίνακας 3: ΥΑ παγκόσμιας παραγωγής (1996-2005)	23
Πίνακας 4: Κύριοι Παραγωγοί Πετρελαίου για το 2015.....	25
Πίνακας 5: Χώρες με τα περισσότερα αποδεδειγμένα αποθέματα αργού πετρελαίου για το 2017	25
Πίνακας 6: Χώρες με μεγαλύτερη Ημερήσια Παραγωγή Αργού για το 2017.....	26
Πίνακας 7: Παρουσίαση Υδατικών Αποτυπωμάτων για το αργό πετρέλαιο	30
Πίνακας 8: Υδατικό αποτύπωμα για διαφορετικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας	31
Πίνακας 9:Ετήσια Κατεργασία Αργού και άλλων Α' Υλών από τις ΒΕΑ.....	33
Πίνακας 10: Χώρες προέλευσης αργών που προμηθεύονται η ΒΕΑ	33
Πίνακας 11: Κατεργασία Αργού από τις ΒΕΑ για τα έτη 2014-2016	34
Πίνακας 12: Προμήθεια αργών της Rosneft στη ΒΕΑ	36
Πίνακας 13: Συμμετοχή Rosneft στη παραγωγή αργού της Ρωσίας για τα έτη 2015, 2016 και 2017	37
Πίνακας 14: Ετήσιες ποσότητες που παράχθηκαν από την εταιρεία	37
Πίνακας 15: Κατανάλωση νερού Rosneft για τα έτη 2014 και 2015	38
Πίνακας 16: Κατανάλωση νερού Rosneft για τα έτη 2016 και 2017	38
Πίνακας 17: Αποθέσεις νερού Rosneft για τα έτη 2014-2015	38
Πίνακας 18: Αποθέσεις νερού Rosneft για τα έτη 2016-2017	39
Πίνακας 19: Υδατικό αποτύπωμα Ural και Siberian Blend για τα έτη 2014-2017.....	39
Πίνακας 20 :Προμήθεια Αργών στη ΒΕΑ από την εταιρεία KazMunayGaz για τα έτη 2014-2016.....	39
Πίνακας 21 : Απόδοση Παραγωγής Tengiz και CPC Blend στη KMG για τα έτη 2014-2016.....	40
Πίνακας 22: Ετήσια κατανάλωση νερού από την KMG για τα έτη 2014-2016	40
Πίνακας 23: Αποθέσεις νερού για την KMG για τα έτη 2016-2017.....	41
Πίνακας 24: Υδατικό αποτύπωμα Tengiz και CPC Blend για τα έτη 2014-2016	41
Πίνακας 25: Προμήθεια Αργών στη ΒΕΑ από την εταιρεία EGPC για τα έτη 2014-2016.....	42
Πίνακας 26: Απόδοση Παραγωγής της Apache στην Αίγυπτο για τα έτη 2014-2016	42
Πίνακας 27: Καταναλώσεις νερού από την Apache για τα έτη 2014-2016	43
Πίνακας 29: Απόδοση Παραγωγής της CEPSA στην Αλγερία για τα έτη 2014-2016.....	44
Πίνακας 30: Ετήσιες καταναλώσεις νερού CEPSA για τα έτη 2014-2016	44
Πίνακας 31: Αποθέσεις νερού για τη CEPSA για τα έτη 2014-2016.....	44
Πίνακας 32: Υδατικό αποτύπωμα Sahara Blend για τα έτη 2014-2016	45
Πίνακας 33: Προμήθεια Αργών στη ΒΕΑ από την εταιρεία NOC για τα έτη 2014-2016	45
Πίνακας 34:Απόδοση παραγωγής αργού της εταιρείας Wintershall.....	46
Πίνακας 35: Ετήσια κατανάλωση νερού της Wintershall για τα έτη 2014-2016	46
Πίνακας 36: Αποθέσεις νερού της Wintershall για τα έτη 2014-2016	46
Πίνακας 37: Υδατικό αποτύπωμα για τα αργά Al Jurf, Sarir και Bouiri για τα έτη 2014-2016	46
Πίνακας 38: Ανεξάρτητες Μεταβλητές και Υδατικά Αποτυπώματα που εισήχθησαν στο μοντέλο παλινδρόμησης. ...	50
Πίνακας 39:Αποτελέσματα και προσαρμογή μοντέλου παλινδρόμησης στα δεδομένα	52
Πίνακας 40: Αναλυτική Παρουσίαση Υδατικού Αποτυπώματος της εφοδιαστικής Αλυσίδας για το έτος 2014.....	53
Πίνακας 41: Αναλυτική Παρουσίαση Υδατικού Αποτυπώματος της εφοδιαστικής Αλυσίδας για το έτος 2015	54
Πίνακας 42: Αναλυτική Παρουσίαση Υδατικού Αποτυπώματος της εφοδιαστικής Αλυσίδας για το έτος 2015	55
Πίνακας 43: Μεταβολές ΥΑ ανηγγμένων ανά μονάδα εισαγόμενου αργού	55
Πίνακας 44: Ποσοστά συμμετοχής εκάστοτε αργού στις προμήθειες και στο ΥΑ	56
Πίνακας 45: Αποτύπωση του ΥΑ για τις Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Ασπροπύργου για τα έτη 2014-2015	57

Παραρτήματα

Παράρτημα I : Ετήσια Κατεργασία Αργού και Πρώτες ύλες στις ΒΕΑ.	69
Παράρτημα II: Μοντέλο Παλινδρόμησης.....	71
II.1: Σχέσεις μεταξύ δεδομένων και Προβλέψεων.....	71
II.2: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών μεταξύ τους και με την εξαρτημένη	73
II.3: Σύνοψη Μοντέλου Παλινδρόμησης.....	75
Παράρτημα III : Μοντέλα Παλινδρόμησης που διερευνήθηκαν	76
III.1 Συνδυασμοί στο ίδιο σύνολο δεδομένων (Σύνολο Δεδομένων 1).....	76
III.2 Συνδυασμοί στο Σύνολο Δεδομένων 2.....	82

Παράρτημα Ι: Ετήσια Κατεργασία Αργού και Πρώτες ύλες στις ΒΕΑ.

Ποσότητες Αργού ανά τύπο	2014		2015		2016		Ειδικό βάρος (kg/L)
	Μάζα (kg)	Όγκος (bbl)	Μάζα (kg)	Όγκος (bbl)	Μάζα (kg)	Όγκος (bbl)	
RAS GHARIB	121.040.964	687.029	-	-	-	-	0,902*
VASCONIA	36.933.809	209.773	-	-	19.059.433	108.252	0,903
ARABIAN LIGHT	100.858.510	545.314	190.632.578	1.030.698	131.982.338	713.592	0,860
BOURI	428.695	2.419	-	-	-	-	0,897*
IRANIAN HEAVY	-	-	-	-	438.117.046	2.424.167	0,880
IRANIAN LIGHT	-	-	-	-	770.664.856	4.164.349	0,859
URAL	2.277.232.685	12.518.625	1.675.630.912	9.211.442	1.515.444.056	8.330.847	0,874
WESTERN DESSERT	25.537.133	131.390	51.756.383	266.290	117.733	606	0,818
KIRKUK	45.239.333	241.206	62.952.314	335.647	-	-	0,848*
QARUN	893.394.756	4.753.917	970.817.457	5.165.897	1.243.501.497	6.616.899	0,846*
AZERI LIGHT	158.140.917	843.884	139.084.636	742.194	-	-	0,848*
SARIR	201.437.650	1.059.090	279.909.140	1.471.666	147.264.495	774.266	0,836
KUMKOL	12.505.517	64.814	-	-	-	-	0,824*
CPC BLEND	1.119.415.717	5.605.978	716.164.543	3.586.516	995.342.234	4.984.624	0,796
SIBERIAN LIGHT	337.825.215	1.805.704	193.188.293	1.032.608	144.213.531	770.833	0,850
TENGIZ	21.059.519	105.862	26.736.354	134.399	11.265.429	56.629	0,799
SAHARA BLEND	-	-	-	-	-	-	0,804*
BASRAH	757.678.019	4.181.385	959.843.984	5.297.075	1.182.885.805	6.527.972	0,877
AL JURF	2.122.986	11.667	-	-	58.666.782	322.398	0,874
BASRAH HEAVY	-	-	4.560.743	25.878	105.062.144	596.127	0,902

Πηγές ειδικού βάρους:

1) Ανάλυση προμηθειών ΕΛΠΕ

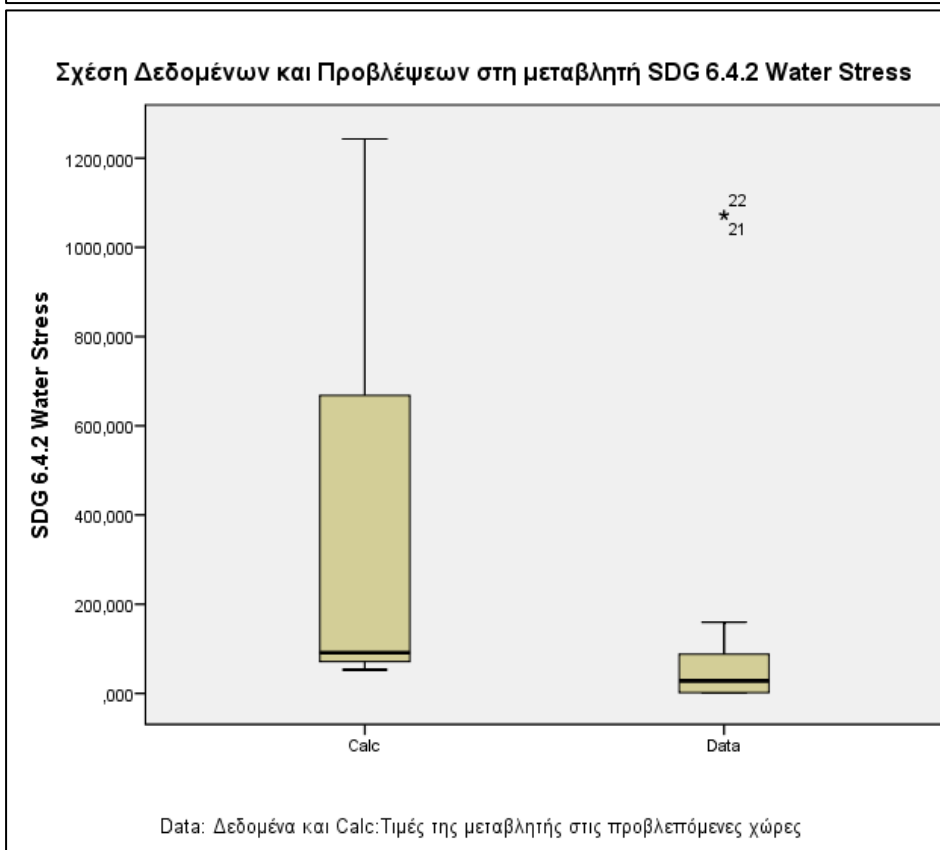
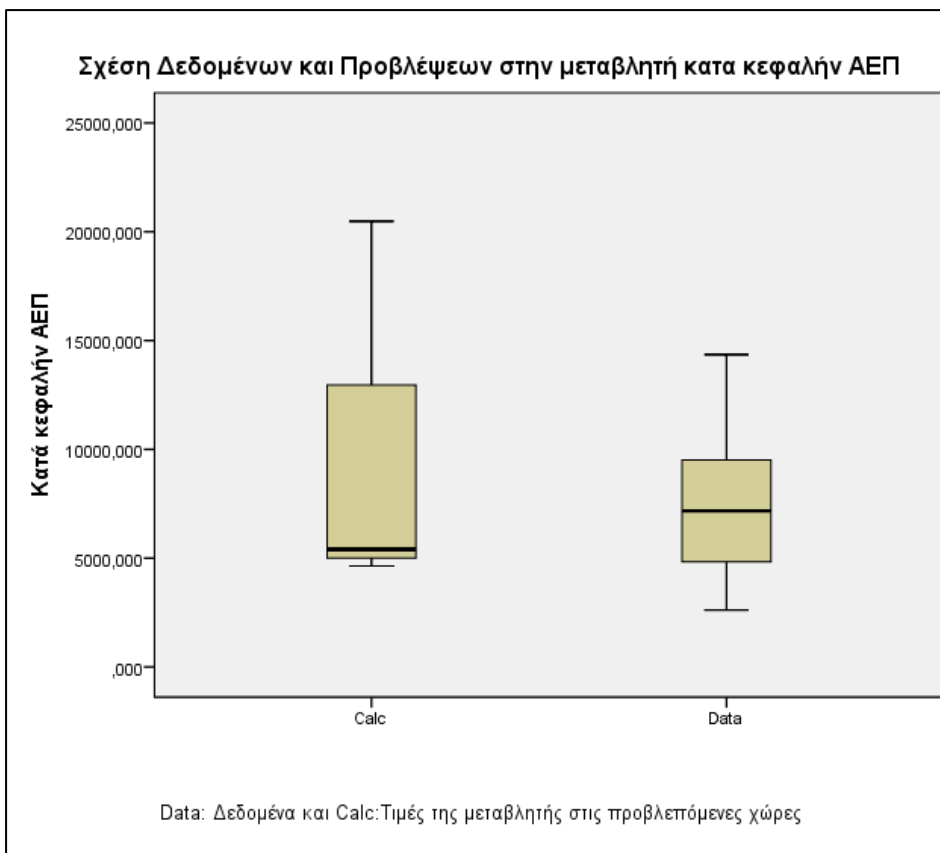
2) ASSAYS αργών (*)

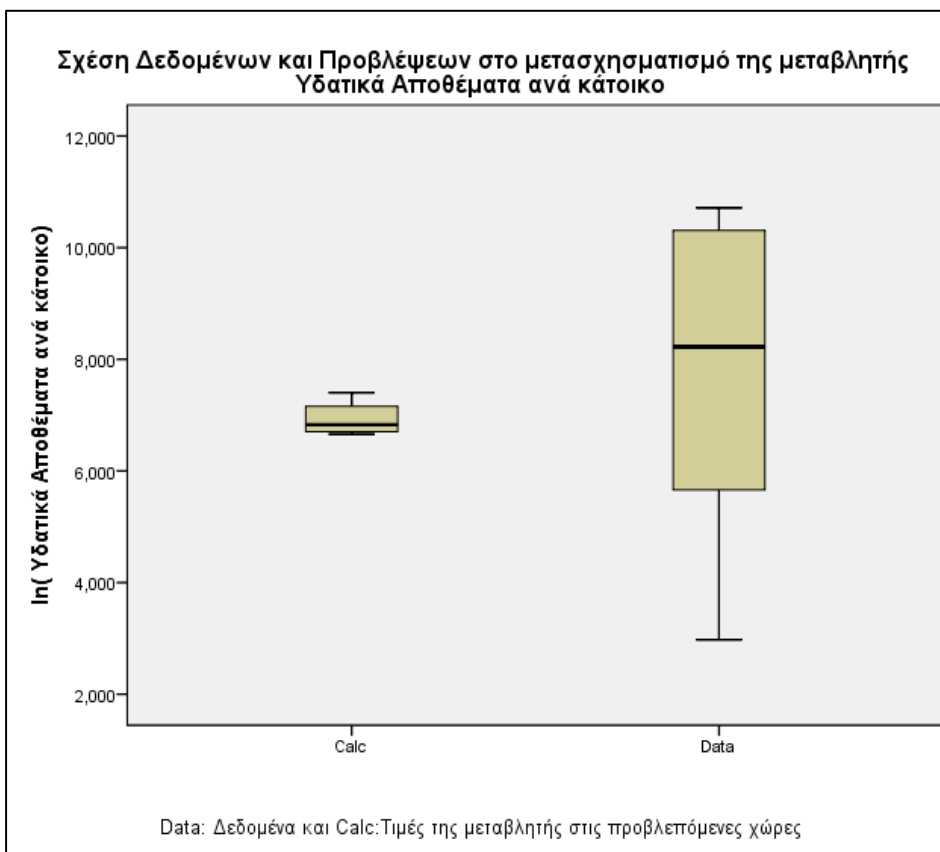
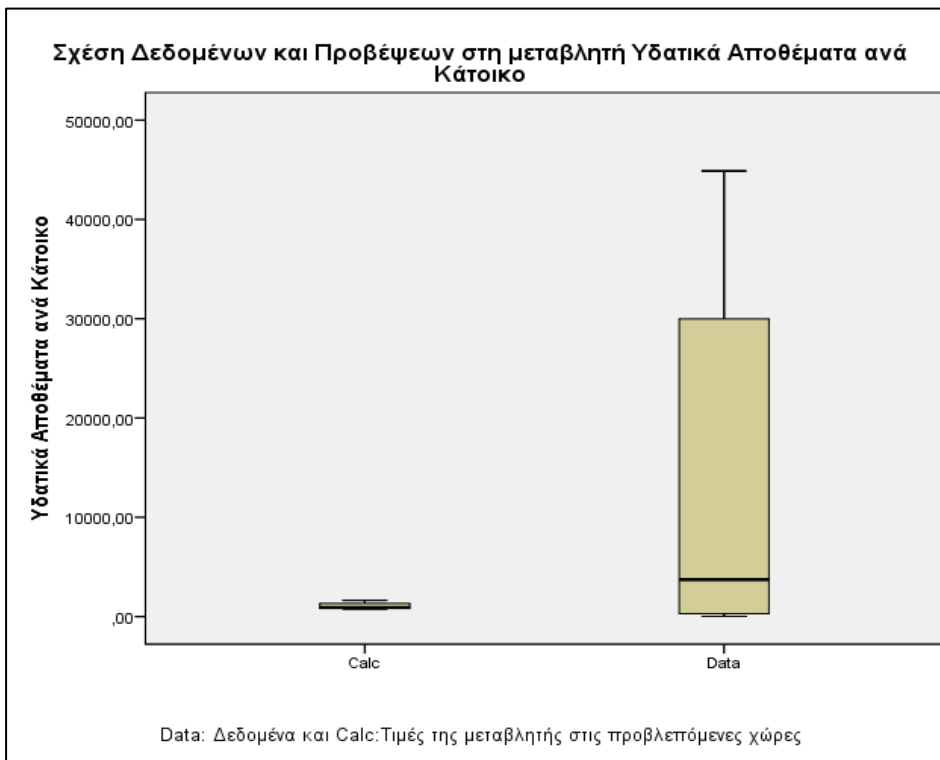
Κατεργασία Α' Υλών	2014		2015		2016	
	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό %	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό %	Ποσότητα (kg)	Ποσοστό %
Απόσταγμα Κενού	86.565.798	1,12	105.949.570	1,53	152.117.105	1,72
Ατμοσφαιρικό Υπόλειμμα	779.751.869	10,12	945.874.351	13,67	1.290.586.874	14,61
Μεθανόλη	57.432.155	0,75	50.081.551	0,72	74.346.229	0,84
Νάφθα (ΒΕΕ) SEM 1	396.863.147	5,15	270.942.439	3,91	332.902.254	3,77
Flexicoker Gas Oil	91.499.841	1,19	106.505.240	1,54	6.253.700	0,07
Uco	110.387.648	1,43	103.397.632	1,49	145.486.823	1,65
Biodiesel	63.312.442	0,82	64.605.925	0,93	67.813.936	0,77
Φυσικό Αέριο	5.994.291	0,08	3.089.066	0,04	50.880	0,00
	-	-	-	-	-	-
Συνολικές α'Υλες	1.591.807.191	20,67	1.650.445.774	23,84	2.069.557.801	23,43
Συνολικό Αργό	6.110.851.425	79,33	5.271.277.337	76,16	6.763.587.379	76,57
Σύνολο Κατεργασίας	7.702.658.616	100,00	6.921.723.111	100,00	8.833.145.180	100,00

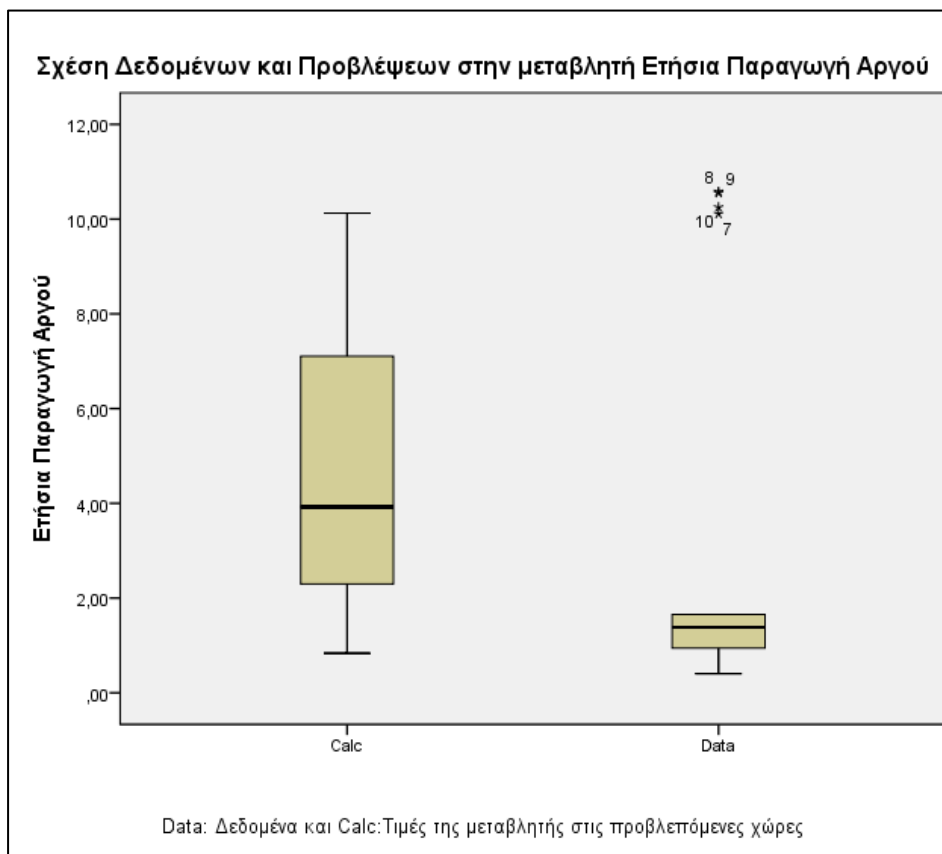
Παράρτημα II: Μοντέλο Παλινδρόμησης

II.1: Σχέσεις μεταξύ δεδομένων και Προβλέψεων

Η σχέση αυτή αποτυπώνεται μέσω της γραφικής απεικόνισης της περιγραφικής στατιστικής με Box plots ,όπου σημειώνεται το εύρος των τιμών, τα τεταρτημόρια στα οποία ανήκουν και η διάμεσος των μεταβλητών [49].







II.2: Συσχετίσεις ανεξάρτητων μεταβλητών μεταξύ τους και με την εξαρτημένη

Οι συσχετίσεις των ανεξάρτητων μεταβλητών μεταξύ τους αλλά και με την εξαρτημένη (YA) υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα SPSS της IBM και με το συντελεστή συσχέτισης συνδιακύμανσης Pearson. Για δύο μεταβλητές X,Y με συνδιακύμανση $cov(X,Y)$ και τυπικές αποκλίσεις σ_X και σ_Y , ο συντελεστής προκύπτει από τη σχέση που ακολουθεί:

$$\rho_{X,Y} = \frac{cov(X,Y)}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Οι μεταβλητές θεωρούνται πλήρως συσχετισμένες αν ο συντελεστής ισούται με τη μονάδα, ενώ ασυσχέτιστες αν παίρνει μηδενική τιμή. Το επίπεδο συσχέτισης αξιολογείται σε συνδυασμό με τη σημαντικότητα της τιμής που υπολογίστηκε. Η τιμή Sig(2-tailed)- p-value δίνει τη πιθανότητα εμφάνισης της συγκεκριμένης συσχέτισης και όταν παρουσιάζει χαμηλή τιμή τότε η υπολογισμένη συσχέτιση κρίνεται σημαντική.

Συσχετίσεις		ΑΕΠ/ κεφαλή	SDG 6.4.2	Ετ. Παρ. Αργού	Υδ.Αποθ./ Κάτοικο	ln(Υδ.Αποθ./ Κάτοικο)	Υδατικό Αποτύπωμα	ln(Υδατικό Αποτύπωμα)
Κατά κεφαλήν ΑΕΠ	Pearson Correlation	1	0,267	0,663**	0,180	0,443*	-0,647**	-0,620**
	Sig. (2-tailed)		0,229	0,001	0,423	0,039	0,004	0,006
	N	22	22	22	22	22	18	18
SDG 6.4.2 -Water Stress	Pearson Correlation	0,267	1	0,010	-0,400	-0,462*	-0,012	0,005
	Sig. (2-tailed)	0,229		0,965	0,065	0,030	0,962	0,986
	N	22	22	22	22	22	18	18
Ετήσια Παραγωγή Αργού	Pearson Correlation	0,663**	0,010	1	0,245	0,425*	-0,362	-0,388
	Sig. (2-tailed)	0,001	0,965		0,271	0,049	0,140	0,112
	N	22	22	22	22	22	18	18
Υδατικά Αποθέματα ανά Κάτοικο	Pearson Correlation	0,180	-0,400	0,245	1	0,855**	-0,649**	-0,740**
	Sig. (2-tailed)	0,423	0,065	0,271		0,000	0,004	0,000
	N	22	22	22	22	22	18	18
ln(Υδατικά Αποθέματα ανά Κάτοικο)	Pearson Correlation	0,443*	-0,462*	0,425*	0,855**	1	-0,814**	-0,840**
	Sig. (2-tailed)	0,039	0,030	0,049	0,000		0,000	0,000
	N	22	22	22	22	22	18	18
Υδατικό Αποτύπωμα	Pearson Correlation	-0,647**	-0,012	-0,362	-0,649**	-0,814**	1	0,986**
	Sig. (2-tailed)	0,004	0,962	0,140	0,004	0,000		0,000
	N	18	18	18	18	18	18	18
ln(Υδατικό Αποτύπωμα)	Pearson Correlation	-0,620**	0,005	-0,388	-0,740**	-0,840**	0,986**	1
	Sig. (2-tailed)	0,006	0,986	0,112	0,000	0,000	0,000	
	N	18	18	18	18	18	18	18

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Παρότι ο δείκτης SDG 6.4 παρουσιάζει πολύ χαμηλή συσχέτιση με το ΥΑ , η συσχέτιση αυτή συνδυάζεται με χαμηλό p-value, με αποτέλεσμα, η υπολογισμένη τιμή να μη κρίνεται σημαντική. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές μεταξύ τους παρουσιάζουν χαμηλή συσχέτιση με αποτέλεσμα να μπορούν να συνδυαστούν σε ένα μοντέλο παλινδρόμησης.

II.3: Σύνοψη Μοντέλου Παλινδρόμησης

Το μοντέλο προέκυψε με τη μέθοδο Enter όπου όλες οι μεταβλητές εισάγονται ταυτόχρονα στην εξίσωση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.

Σύνοψη Μοντέλου				
	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0,991 ^a	0,982	0,976	0,060642

Η υψηλή τιμή του R square υποδηλώνει ότι το μοντέλο παρουσιάζει καλή προσαρμογή στα δεδομένα ενώ η χαμηλή τιμή Sig του πίνακα ANOVA δείχνει ότι, συνολικά, το μοντέλο παλινδρόμησης προβλέπει στατιστικώς σημαντικά την μεταβλητή.

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	2,570	4	0,642	174,699	0,000
	Residual	0,048	13	0,004		
	Total	2,618	17			

Συντελεστές							
			Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
			B	Std. Error	Beta		
	ΑΕΠ/κεφαλή	a	-2,046E-7	0,000	-0,002	-0,031	0,976
	SDG 4.6.2	b	-0,001	0,000	-0,621	-13,671	4,3114E-9
	Παραγωγή Αργού	c	0,001	0,005	0,006	0,120	0,907
	ln(Υδατ. Αποθ. /κάτοικο)	d	-0,161	0,008	-1,173	-20,156	3,433E-11
	(Constant)	-	4,814	0,056		86,699	0,000

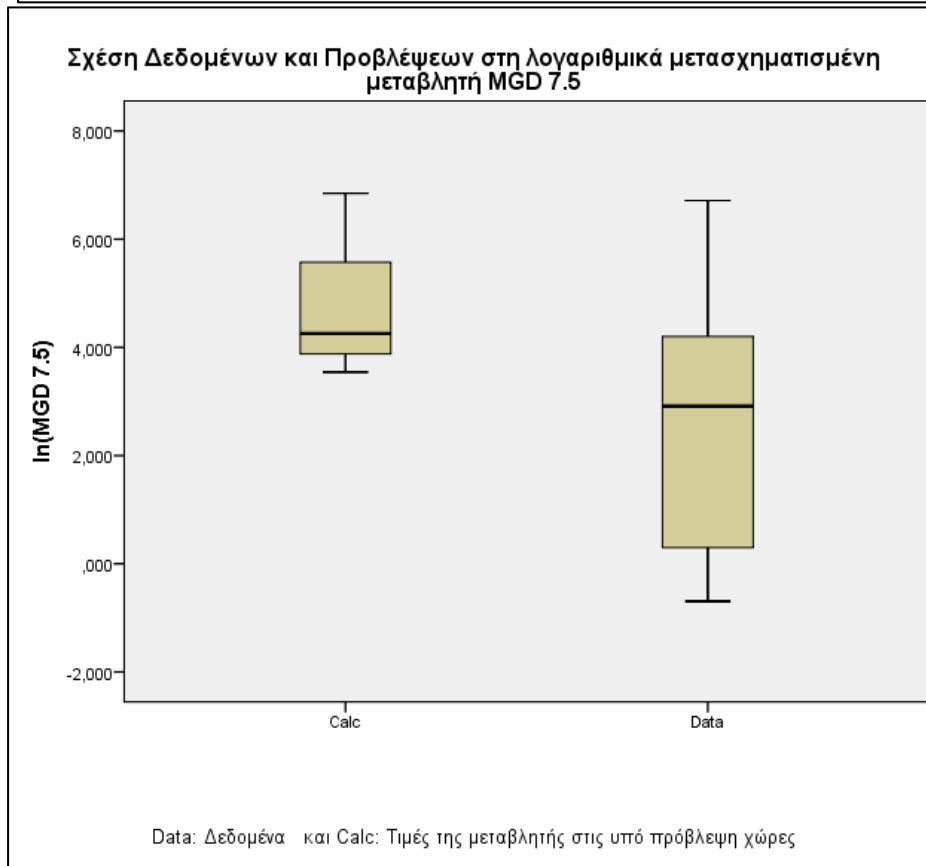
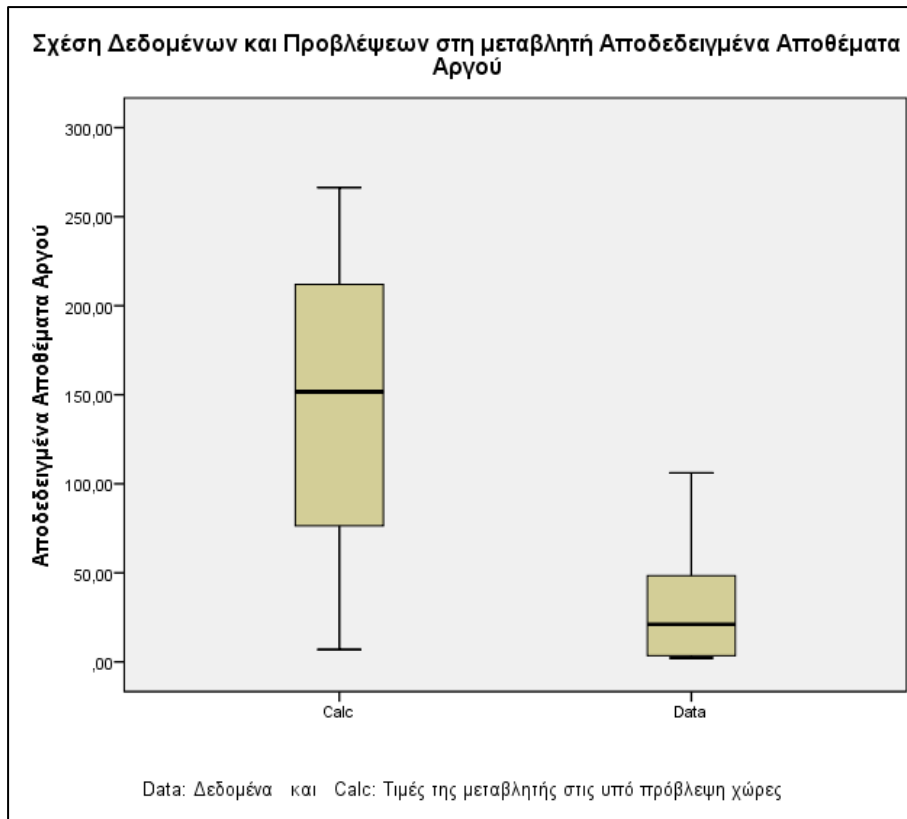
Συνάρτηση Παλινδρόμησης :

$$\ln(YA) = [(-2,046 \cdot 10^{-7})a + (-0,001)b + 0,001c + (-0,161)d + 4,814]^{10-2} \quad (\text{Μονάδες : } m^3/bbl \text{ αργού})$$

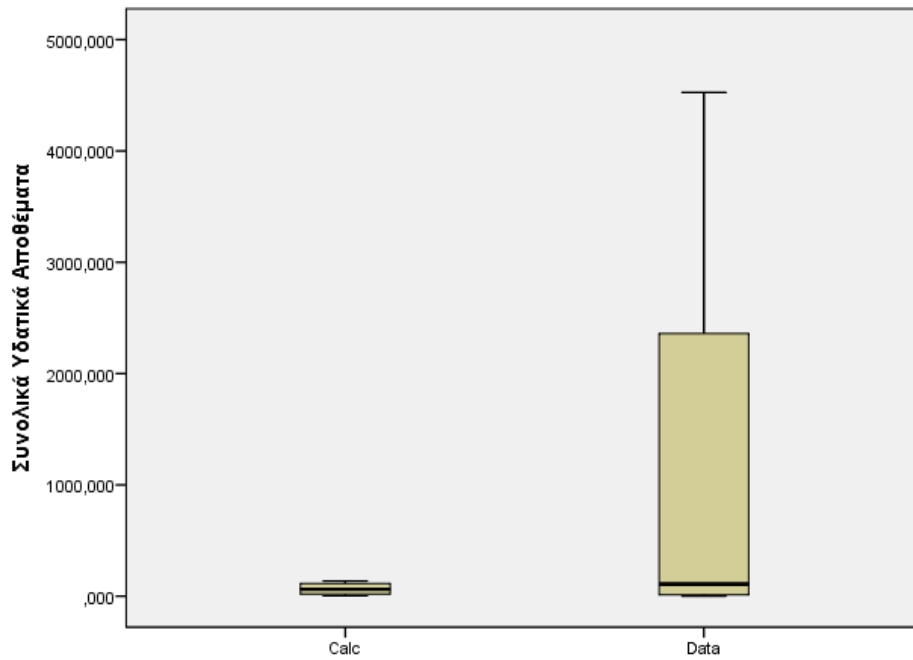
Παράρτημα III : Μοντέλα Παλινδρόμησης που διερευνήθηκαν

III.1 Συνδυασμοί στο ίδιο σύνολο δεδομένων (Σύνολο Δεδομένων 1)

Σχέση δεδομένων και προβλέψεων μέσω της γραφικής απεικόνισης της περιγραφικής στατιστικής με Box plots, όπου σημειώνεται το εύρος των τιμών, τα τεταρτημόρια στα οποία ανήκουν και η διάμεσος των μεταβλητών.

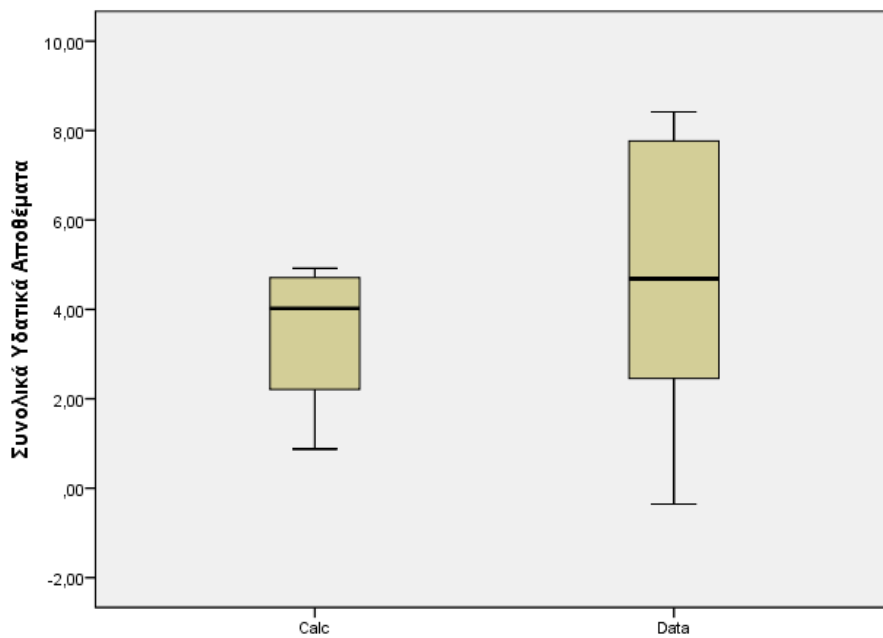


Σχέση Δεδομένων και Προβλέψεων στη μεταβλητή Συνολικά Υδατικά Αποθέματα



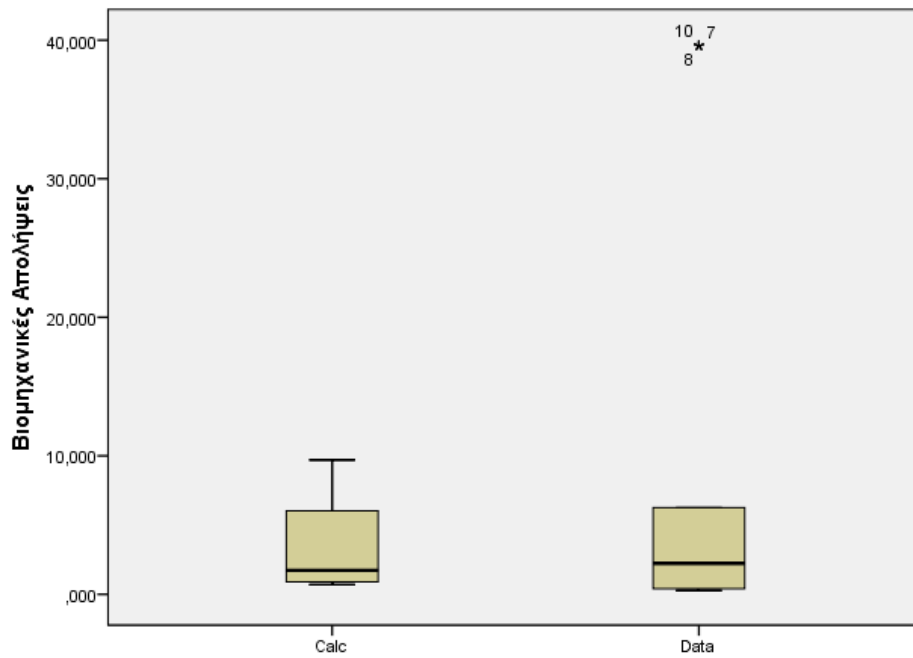
Data: Δεδομένα και Calc: Τιμές της μεταβλητής στις υπό πρόβλεψη χώρες

Σχέση Δεδομένων και Προβλέψεων στη λογαριθμικά μετασχηματισμένη μεταβλητή Συνολικά Υδατικά Αποθέματα



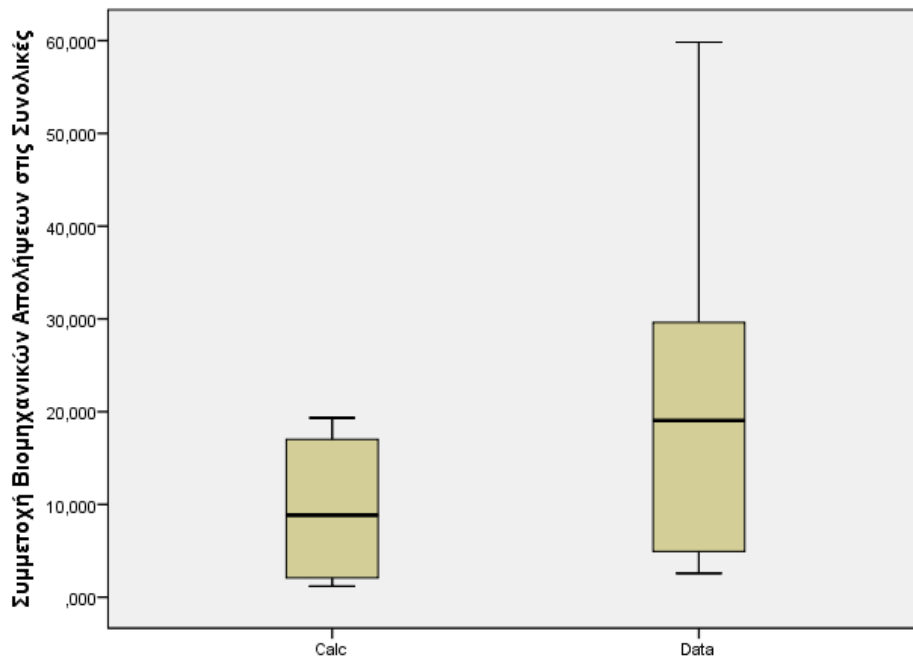
Data: Δεδομένα και Calc: Τιμές της μεταβλητής στις υπό πρόβλεψη χώρες

Σχέση Δεδομένων και Προβλέψεων στη μεταβλητή Βιομηχανικές Απολήψεις



Data: Δεδομένα και Calc: Τιμές της μεταβλητής στις υπό πρόβλεψη χώρες

Σχέση Δεδομένων και Προβλέψεων στη μεταβλητή Συμμετοχή Βιομηχανικών Απολήψεων στις Συνολικές



Data: Δεδομένα και Calc: Τιμές της μεταβλητής στις υπό πρόβλεψη χώρες

Οι συσχετίσεις και εδώ προέκυψαν με χρήση του συντελεστή συσχέτισης Pearson.

Συσχετίσεις		Βιομηχανικές Απολήψεις	Ποσοστό Βιομηχανικών Απολήψεων	ln(MDG 7.5)	Αποθέματα Αργού	Συνολικά Υδατικά Αποθέματα	ln(Συνολικά Υδατικά Αποθέματα)	YA	ln(YA)
Βιομηχανικές Απολήψεις	Pearson Correlation	1	0,933**	-0,492*	0,348	0,854**	0,628**	-0,372	-0,404
	Sig. (2-tailed)		0,000	0,020	0,113	0,000	0,002	0,128	0,096
	N	22	22	22	22	22	22	18	18
Ποσοστό Βιομηχανικών Απολήψεων	Pearson Correlation	0,933**	1	-0,659**	0,177	0,854**	0,728**	-0,547*	-0,566*
	Sig. (2-tailed)	0,000		0,001	0,432	0,000	0,000	0,019	0,014
	N	22	22	22	22	22	22	18	18
ln(MDG 7.5)	Pearson Correlation	-0,492*	-0,659**	1	0,239	-0,798**	-0,945**	0,582*	0,647**
	Sig. (2-tailed)	0,020	0,001		0,283	0,000	0,000	0,011	0,004
	N	22	22	22	22	22	22	18	18
Αποθέματα Αργού	Pearson Correlation	0,348	0,177	0,239	1	0,143	-0,058	-0,422	-0,424
	Sig. (2-tailed)	0,113	0,432	0,283		0,525	0,797	0,081	0,080
	N	22	22	22	22	22	22	18	18
Συνολικά Υδατικά Αποθέματα	Pearson Correlation	0,854**	0,854**	-0,798**	0,143	1	0,833**	-0,578*	-0,653**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,525		0,000	0,012	0,003
	N	22	22	22	22	22	22	18	18
ln(Συνολικά Υδατικά Αποθέματα)	Pearson Correlation	0,628**	0,728**	-0,945**	-0,058	0,833**	1	-0,425	-0,508*
	Sig. (2-tailed)	0,002	0,000	0,000	0,797	0,000		0,079	0,031
	N	22	22	22	22	22	22	18	18
YA	Pearson Correlation	-0,372	-0,547*	0,582*	-0,422	-0,578*	-0,425	1	0,986**
	Sig. (2-tailed)	0,128	0,019	0,011	0,081	0,012	0,079		0,000
	N	18	18	18	18	18	18	18	18
ln(YA)	Pearson Correlation	-0,404	-0,566*	0,647**	-0,424	-0,653**	-0,508*	0,986**	1
	Sig. (2-tailed)	0,096	0,014	0,004	0,080	0,003	0,031	0,000	
	N	18	18	18	18	18	18	18	18

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Ενδεικτικά παρουσιάζονται αποτελέσματα και προσαρμογή μοντέλων που δημιουργήθηκαν:

Μοντέλο 1		Χώρες	YA _{data} (10 ⁻² m ³ /bbl)	YA _{calc} (10 ⁻² m ³ /bbl)	Σχετικό Απόλυτο Σφάλμα
Σταθερά	6,202	Αζερμπαϊτζάν	-	32,297	-
ΑΕΠ/κεφαλή	3,020E-05	Ιράν	-	22,575	-
ln(Υδατ.Αποθ.)	-0,006	Ιράκ	-	25,392	-
ln(Υδατ. Αποθ./κάτοικο)	-0,314	Σαουδική Αραβία	-	26,397	-
ln (SDG.6.4)	-0,005	Κολομβία 2012	22	23,126	5,1%
ln (MGD.7.5)	-0,206	Καζακστάν 2014	31	30,169	2,7%
		Ρωσία 2014	24	26,659	11,1%
		Ρωσία 2016	22	24,294	10,4%
		Ρωσία 2017	24,5	23,807	2,8%
		Ρωσία 2015	23,5	23,031	2,0%
		Καζακστάν 2015	35	26,063	25,5%
		Καζακστάν 2016	31	25,587	17,5%
		Κολομβία 2013	22	23,310	6,0%
		Κολομβία 2014	22	23,480	6,7%
		Κολομβία 2015	22	23,590	7,2%
		Αλγερία 2014	41	38,857	5,2%
		Αλγερία 2015	44	38,956	11,5%
		Αλγερία 2016	49	39,035	20,3%
		Αίγυπτος 2014	69	73,537	6,6%
		Αίγυπτος 2015	72	73,664	2,3%
		Λιβύη 2014	28	33,134	18,3%
		Λιβύη 2015	25	32,515	30,1%

Μοντέλο 2		Χώρες	YA _{data} (10 ⁻² m ³ /bbl)	YA _{calc} (10 ⁻² m ³ /bbl)	Σχετικό Απόλυτο Σφάλμα
Σταθερά	6,209	Αζερμπαϊτζάν	-	31,808	-
ΑΕΠ/κεφαλή	432E-05	Ιράν	-	22,612	-
ln(Υδατ. Αποθ./κάτοικο)	- 0,310	Ιράκ	-	25,399	-
Παραγωγή Αργού	- 0,008	Σαουδική Αραβία	-	25,992	-
ln (SDG.6.4)	- 0,212	Κολομβία 2012	22	23,367	6,2%
		Καζακστάν 2014	31	31,088	0,3%
		Ρωσία 2014	24	26,526	10,5%
		Ρωσία 2016	22	23,780	8,1%
		Ρωσία 2017	24,5	23,233	5,2%
		Ρωσία 2015	23,5	22,436	4,5%
		Καζακστάν 2015	35	26,321	24,8%
		Καζακστάν 2016	31	25,786	16,8%
		Κολομβία 2013	22	23,564	7,1%
		Κολομβία 2014	22	23,763	8,0%
		Κολομβία 2015	22	23,885	8,6%
		Αλγερία 2014	41	38,775	5,4%
		Αλγερία 2015	44	38,883	11,6%
		Αλγερία 2016	49	39,000	20,4%
		Αίγυπτος 2014	69	73,563	6,6%
		Αίγυπτος 2015	72	73,701	2,4%
		Λιβύη 2014	28	32,977	22,1%
		Λιβύη 2015	25	32,298	29,2%

Μοντέλο 3		Χώρες	YA _{data} (10 ⁻² m ³ /bbl)	YA _{calc} (10 ⁻² m ³ /bbl)	Σχετικό Απόλυτο Σφάλμα
Σταθερά	4,813	Αζερμπαϊτζάν	-	39,933	-
SDG.6.4	-0,001	Ιράν	-	35,035	-
Παραγωγή Αργού	0,001	Ιράκ	-	37,830	-
ln(Υδατ. Αποθ./κάτοικο)	-0,161	Σαουδική Αραβία	-	17,213	-
		Κολομβία 2012	22	21,877	0,6%
		Καζακστάν 2014	31	32,062	3,4%
		Ρωσία 2014	24	23,437	2,3%
		Ρωσία 2016	22	23,442	6,6%
		Ρωσία 2017	24,5	23,442	4,3%
		Ρωσία 2015	23,5	23,439	0,3%
		Καζακστάν 2015	35	32,062	8,4%
		Καζακστάν 2016	31	32,061	3,4%
		Κολομβία 2013	22	21,877	0,6%
		Κολομβία 2014	22	21,877	0,6%
		Κολομβία 2015	22	21,877	0,6%
		Αλγερία 2014	41	46,400	13,2%
		Αλγερία 2015	44	46,401	5,5%
		Αλγερία 2016	49	46,399	5,3%
		Αίγυπτος 2014	69	67,918	1,6%
		Αίγυπτος 2015	72	67,919	5,7%
		Λιβύη 2014	28	26,479	1,9%
		Λιβύη 2015	25	26,478	5,9%

Μοντέλο 4		Χώρες	YA _{data} (10 ⁻² m ³ /bbl)	YA _{calc} (10 ⁻² m ³ /bbl)	Σχετικό Απόλυτο Σφάλμα
Σταθερά	4,812	Αζερμπαϊτζάν	-	39,960	-
ΑΕΠ/κεφαλή	1,600E-07	Ιράν	-	35,009	-
ln(Υδατ. Αποθ./κάτοικο)	-0,161	Ιράκ	-	37,788	-
(SDG.6.4)	-0,001	Σαουδική Αραβία	-	17,172	-
		Κολομβία 2012	22	21,912	0,4%
		Καζακστάν 2014	31	32,125	3,6%
		Ρωσία 2014	24	23,392	2,5%
		Ρωσία 2016	22	23,381	6,3%
		Ρωσία 2017	24,5	23,378	4,6%
		Ρωσία 2015	23,5	23,374	0,5%
		Καζακστάν 2015	35	32,100	8,3%
		Καζακστάν 2016	31	32,097	3,5%
		Κολομβία 2013	22	21,913	0,4%
		Κολομβία 2014	22	21,914	0,4%
		Κολομβία 2015	22	21,914	0,4%
		Αλγερία 2014	41	46,402	13,2%
		Αλγερία 2015	44	46,402	5,5%
		Αλγερία 2016	49	46,403	5,3%
		Αίγυπτος 2014	69	67,885	1,6%
		Αίγυπτος 2015	72	67,886	5,7%
		Λιβύη 2014	28	26,480	5,4%
		Λιβύη 2015	25	26,478	5,9%

Στο Σύνολο Δεδομένων 1 οι μεταβλητές Βιομηχανικές Απολήψεις, Ποσοστό Βιομηχανικών Απολήψεων στις συνολικές δε συμμετείχαν συχνά σε μοντέλα παλινδρόμησης που αναπτύχθηκαν καθώς παρουσίαζαν χαμηλές συσχετίσεις και προκαλούσαν αστοχίες στη προσαρμογή.

III.2 Συνδυασμοί στο Σύνολο Δεδομένων 2

Ενδεικτικά παρουσιάζονται το Σύνολο Δεδομένων 2 και οι παράμετροι και επιδόσεις των μοντέλων με τις καλύτερες προσαρμογές.

Σύνολο Δεδομένων 2									
Χώρες	ΑΕΠ/κεφαλή	Συνολικά Υδατικά Αποθέματα	Βιομηχανικές Απολήψεις	Βιομηχανικές Απολήψεις (%) των συνολικών	MGD 7.5	SDG 6.4	Ημερήσια Παραγωγή Αργού	Αποδεδειγμένα Αποθέματα Αργού	Υδατικά Αποθέματα/ κάτοικο
Αζερμπαϊτζάν	5439,0	34,7	2,4	19,3	34,5	53,1	0,8	7,0	851,1
Ιράν	5372,0	137,0	1,1	1,2	68,0	90,0	3,8	157,6	1638,8
Ιράκ	4640,0	89,9	9,7	14,7	73,4	93,1	4,1	145,8	1005,5
Σαουδική Αραβία	20482,0	2,4	0,7	3,0	943,3	1243,0	10,1	266,4	780,0
Κολομβία ²	6789,5	2360,0	2,2	19,1	0,5	0,9	0,9	2,2	44882,1
Καζακστάν ⁴	14354,8	108,4	6,3	29,6	18,4	28,1	1,6	30,0	3722,2
Ρωσία 2014	14354,8	4525,0	39,6	59,8	1,3	2,0	10,1	103,2	29982,0
Ρωσία 2016	11279,0	4525,0	39,6	59,8	1,3	2,0	10,6	106,2	29982,0
Ρωσία 2017	10608,2	4525,0	39,6	59,8	1,3	2,0	10,6	106,2	29982,0
Ρωσία 2015	9510,2	4525,0	39,6	59,8	1,3	2,0	10,3	102,4	29982,0
Καζακστάν 2015	9510,2	108,4	6,3	29,6	18,4	28,1	1,7	30,0	3722,2
Καζακστάν 2016	8900,0	108,4	6,3	29,6	18,4	28,1	1,6	30,0	3722,2
Κολομβία 2013	7051,0	2360,0	2,2	19,1	0,5	0,9	1,0	2,2	44882,1
Κολομβία 2014	7291,7	2360,0	2,2	19,1	0,5	0,9	1,0	2,4	44882,1
Κολομβία 2015	7446,2	2360,0	2,2	19,1	0,5	0,9	1,0	2,3	44882,1
Αλγερία 2014	4675,9	11,7	0,4	4,9	66,9	88,0	1,4	12,2	287,6
Αλγερία 2015	4759,6	11,7	0,4	4,9	66,9	88,0	1,4	12,2	287,6
Αλγερία 2016	4827,7	11,7	0,4	4,9	66,9	88,0	1,3	12,2	287,6
Αίγυπτος 2014	2608,4	58,3	2,0	2,6	126,6	159,8	0,7	3,7	19,6
Αίγυπτος 2015	2665,4	58,3	2,0	2,6	126,6	159,8	0,7	3,5	19,6
Λιβύη 2014	6697,1	0,7	0,3	4,8	822,9	1072,0	0,5	48,4	112,8
Λιβύη 2015	6073,4	0,7	0,3	4,8	822,9	1072,0	0,4	48,4	112,8

Μοντέλο 1		Χώρες	YA _{data} (10 ⁻² m ³ /bbl)	YA _{calc} (10 ⁻² m ³ /bbl)	Σχετικό Απόλυτο Σφάλμα
Σταθερά	4,897110365	Αζερμπαϊτζάν	-	43,178	-
ΑΕΠ/κεφαλή	-6,8978E-07	Ιράν	-	29,769	-
Βιομηχανικές Απολήψεις (%)	0,007578521	Ιράκ	-	35,585	-
SDG.6.4	-0,00073917	Σαουδική Αραβία	-	11,978	-
Παραγωγή Αργού	-0,03060776	Ρωσία 2014	24,00	24,078	0,33%
In(Υδατ. Αποθ./κάτοικο)	-0,17930253	Ρωσία 2017	24,50	23,796	2,87%
		Ρωσία 2015	23,50	24,056	2,36%
		Καζακστάν 2015	35,00	35,498	1,42%
		Κολομβία 2013	22,00	21,856	0,65%
		Κολομβία 2014	22,00	21,864	0,62%
		Κολομβία 2015	22,00	21,852	0,67%
		Αλγερία 2014	41,00	45,041	9,86%
		Αλγερία 2015	44,00	45,026	2,33%
		Αλγερία 2016	49,00	45,136	7,89%
		Αίγυπτος 2014	69,00	69,518	0,75%
		Αίγυπτος 2015	72,00	69,494	3,48%
		Λιβύη 2014	28,00	26,437	5,58%
		Λιβύη 2015	25,00	26,503	6,01%

Μοντέλο 2		Χώρες	YA _{data} (10 ⁻² m ³ /bbl)	YA _{calc} (10 ⁻² m ³ /bbl)	Σχετικό Απόλυτο Σφάλμα
Σταθερά	6,209	Αζερμπαϊτζάν	-	40,250	-
ΑΕΠ/κεφαλή	3,432E-05	Ιράν	-	34,651	-
In(Υδατ. Αποθ./κάτοικο)	-0,310	Ιράκ	-	37,161	-
Παραγωγή Αργού	-0,008	Σαουδική Αραβία	-	19,450	-
In (SDG.6.4)	-0,212	Ρωσία 2014	24,00	24,886	3,69%
		Ρωσία 2017	24,50	23,673	3,37%
		Ρωσία 2015	23,50	23,366	0,57%
		Καζακστάν 2015	35,00	33,578	4,06%
		Κολομβία 2013	22,00	21,825	0,79%
		Κολομβία 2014	22,00	21,894	0,48%
		Κολομβία 2015	22,00	21,937	0,29%
		Αλγερία 2014	41,00	46,557	13,55%
		Αλγερία 2015	44,00	46,606	5,92%
		Αλγερία 2016	49,00	46,660	4,78%
		Αίγυπτος 2014	69,00	67,831	1,69%
		Αίγυπτος 2015	72,00	67,878	5,72%
		Λιβύη 2014	28,00	26,579	5,08%
		Λιβύη 2015	25,00	26,371	5,49%