



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διερεύνηση και αξιολόγηση της διαχείρισης φυσικών πόρων στην πολιτεία της Καλιφόρνιας με χρήση του εννοιολογικού πλαισίου Water-Energy-Food Nexus



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεωργία Μάνου

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μπαλτάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2019

Copyright © Γεωργία Χ. Μάνου, 2019.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τη συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τη συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Φωτογραφία Εξωφύλλου: The Green Economy and the Water-Energy-Food Nexus.

Πηγή: The Water Network



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διερεύνηση και αξιολόγηση της διαχείρισης φυσικών πόρων στην  
πολιτεία της Καλιφόρνιας με χρήση του εννοιολογικού πλαισίου Water-  
Energy-Food Nexus

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεωργία Μάνου

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μπαλτάς, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2019

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιεύσιμου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.



## Πρόλογος

Η εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας περιείχε έξι έντονους μήνες μεγάλης προσπάθειας, δημιουργικότητας και συλλογής γνώσεων. Με αυτήν ολοκληρώνεται ο κύκλος των φοιτητικών μου χρόνων και ξεκινάει αμέσως ένας καινούριος.

Φυσικά, η περάτωση μιας τέτοιας εργασίας παρουσιάζει πολλές προκλήσεις, αβεβαιότητες και αμφισβήτηση, τα οποία κατάφερα να ξεπεράσω με τη συμβολή του επιβλέποντα καθηγητή μου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω, λοιπόν, τον Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου κύριο Ευάγγελο Μπαλτά, που μου έδωσε όχι μόνο την ευκαιρία να συνεργαστώ μαζί του αλλά και την ελευθερία να επιλέξω το θέμα και να παράξω ιδέες πάνω σε αυτό. Τον ευχαριστώ, επίσης, για τις εύστοχες συμβουλές και την υποστήριξή του από την πρώτη μέχρι την τελευταία στιγμή.

Επιπλέον, είχα την τύχη να συνεργαστώ με τον Υποψήφιο Διδάκτορα Γιώργο Μπαριάμη, ο οποίος μου συμπεριφέρθηκε τόσο σαν μέντορας όσο και σαν φίλος και τον ευχαριστώ ειλικρινά. Η διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας δε θα ήταν δυνατή χωρίς τη βοήθεια του, τις καίριες συμβουλές και την καθοδήγησή του.

Τέλος, πολλά ευχαριστώ οφείλω στους φίλους και την οικογένεια μου για την κατανόηση και τη συμπαράστασή τους και, ίσως, μερικά συγγνώμη που για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής θυσιάσα αρκετό από τον κοινό μας χρόνο.



## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη .....	i
Abstract .....	iii
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Ιστορική Αναδρομή και εμφάνιση του Water-Energy-Food Nexus .....	1
1.2 Μέθοδοι εφαρμογής του WEFN .....	5
1.3 Τα στοιχεία του WEFN .....	7
1.3.1 Το νερό.....	7
1.3.2 Η ενέργεια.....	8
1.3.3 Η τροφή.....	9
1.4 Οι αλληλεπιδράσεις των στοιχείων του WEFN .....	10
1.4.1 Νερό για ενέργεια .....	11
1.4.2 Ενέργεια για νερό.....	12
1.4.3 Νερό για τροφή .....	12
1.4.4 Τροφή για νερό .....	12
1.4.5 Ενέργεια για τροφή .....	13
1.4.6 Τροφή για ενέργεια .....	14
1.5 Σκοπός της εργασίας .....	14
1.5.1 Κριτήρια επιλογής της περιοχής μελέτης .....	15
2 Περιγραφή της περιοχής μελέτης – Ανάλυση δεδομένων .....	16
2.1 Η γεωγραφία και οι χρήσεις γης.....	16
2.2 Το κλίμα.....	17
2.2.1 Βροχόπτωση.....	17
2.2.2 Θερμοκρασία .....	18
2.3 Το νερό .....	19
2.3.1 Επιφανειακό νερό.....	19
2.3.2 Υπόγειο νερό.....	25
2.3.3 Υδατικό Ισοζύγιο (Water Balance).....	28
2.4 Η ενέργεια .....	33
2.4.1 Ηλεκτρική Ενέργεια.....	35
2.4.2 Άλλα τμήματα του Ενεργειακού Μίγματος .....	40
2.5 Η τροφή.....	41
3 Μεθοδολογία.....	45
3.1 Γενικά.....	45
3.2 Οι αλληλεπιδράσεις των στοιχείων του WEFN στην Καλιφόρνια .....	45
3.2.1 Νερό για ενέργεια .....	45
3.2.2 Ενέργεια για νερό.....	53
3.2.3 Νερό για τροφή .....	55

3.2.4	Τροφή για νερό .....	56
3.2.5	Ενέργεια για τροφή .....	56
3.2.6	Τροφή για ενέργεια .....	59
4	Αποτελέσματα – Συζήτηση .....	60
4.1	Οι αλληλεπιδράσεις των στοιχείων του WEFN .....	60
4.1.1	Νερό για ενέργεια .....	60
4.1.2	Ενέργεια για νερό.....	64
4.1.3	Νερό για τροφή .....	64
4.1.4	Τροφή για νερό .....	65
4.1.5	Ενέργεια για τροφή .....	65
4.1.6	Τροφή για ενέργεια .....	69
4.2	Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα.....	70
5	Συμπεράσματα-Μελλοντική Έρευνα .....	72
6	Αναφορές.....	74



## Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να απασχολεί όλο και περισσότερο τη διεθνή επιστημονική κοινότητα η επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης. Απόρροια αυτού είναι και η εμφάνιση του Water-Energy-Food Nexus (WEFN) ως ένα εννοιολογικό εργαλείο διαχείρισης φυσικών πόρων. Το WEFN στοχεύει στην ανάπτυξη του κάθε επιμέρους τομέα χωρίς την υποβάθμιση κανενός εκ των άλλων δύο και λαμβάνει υπόψη τις αλληλεπιδράσεις, τις συνέργειες και τις ανταγωνιστικές χρήσεις μεταξύ του νερού, της ενέργειας και της τροφής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιδιώκεται η διερεύνηση και η αξιολόγηση της διαχείρισης φυσικών πόρων στην Καλιφόρνια με βάση το εννοιολογικό πλαίσιο WEFN. Η Καλιφόρνια είναι η τρίτη μεγαλύτερη σε έκταση πολιτεία της Αμερικής και η πιο πολυπληθής. Επιπλέον, το 2018 η οικονομία της αναδείχθηκε ως η πέμπτη μεγαλύτερη στον κόσμο. Στην πραγματικότητα, η ανάπτυξη της Καλιφόρνιας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τους υδατικούς της πόρους. Παρά το γεγονός ότι η γεωγραφία και το κλίμα της χαρακτηρίζονται από ποικιλομορφία και αντιθέσεις και η διαθεσιμότητα του νερού διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, από εποχή σε εποχή και από χρόνο σε χρόνο, η Καλιφόρνια, έχοντας κατασκευάσει το μεγαλύτερο και πιο εκτεταμένο υδραυλικό σύστημα του κόσμου, έχει επιτύχει να μπορεί να χρησιμοποιεί το περιβάλλον της με τρόπο που της επιτρέπει όχι απλώς να επιτελεί τις λειτουργίες της, αλλά, παράλληλα, να ευημερεί. Το υδραυλικό της σύστημα είναι και ο λόγος για τον οποίο έχει χαρακτηριστεί και ως το πιο αλλοιωμένο κομμάτι γης του πλανήτη. Ενώ, λοιπόν, το νερό στην πολιτεία είναι περιορισμένο, την ίδια στιγμή, έχει μεγάλη σημασία για τα αστικά της κέντρα, τη βιομηχανία, τη γεωργία και τη διατήρηση του φυσικού της πλούτου. Κατά συνέπεια, καθίσταται εμφανής η αλληλοσύνδεσή του με την ενέργεια και την τροφή.

Αρχικά, στην ανάλυση αποτυπώνεται ο τρόπος παραγωγής και διανομής των τριών φυσικών πόρων στην κοινωνία και στη συνέχεια, εντοπίζονται με ποσοτικούς όρους οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Τέλος, καταγράφονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα, καθώς επίσης, γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.



## Abstract

The last few years the international scientific community has become more and more concerned about the achievement of sustainable development. As a result the Water-Energy-Food Nexus (WEFN) has emerged as a conceptual tool for natural resources management. The aim of the WEFN is the development of each one of the three domains without the other two being undermined. Therefore, it is taking into account the interactions, the synergies and the competitiveness between water, energy and food.

In the current diploma thesis a WEFN assessment is carried out in California. California is the third biggest state of the United States of America and the most populous one. In addition, in 2018 California's economy became the world's fifth largest. In fact, California's development is inextricably linked to its water resources. Despite the fact that contrast and diversity characterize its geography and climate and the availability of water varies widely from place to place, season to season and year to year, after having constructed the world's largest water system, the state of California has managed to adjust its environment to its needs, in order to ensure prosperity for its people. Its water system is the reason why California has been reasonably characterized as the most hydrologically altered landmass on the planet. Water in the state is scarce but indeed vital for its urban centers, industry, agriculture and environmental preservation. Therefore, its interconnections with energy and food are becoming profoundly apparent.

At first, in the analysis the production and distribution of California's natural resources are examined and subsequently, the interactions between them are outlined in quantitative terms. Finally, the results and conclusions are presented as well as some proposals for potential future research.



# 1 Εισαγωγή

## 1.1 Ιστορική Αναδρομή και εμφάνιση του Water-Energy-Food Nexus

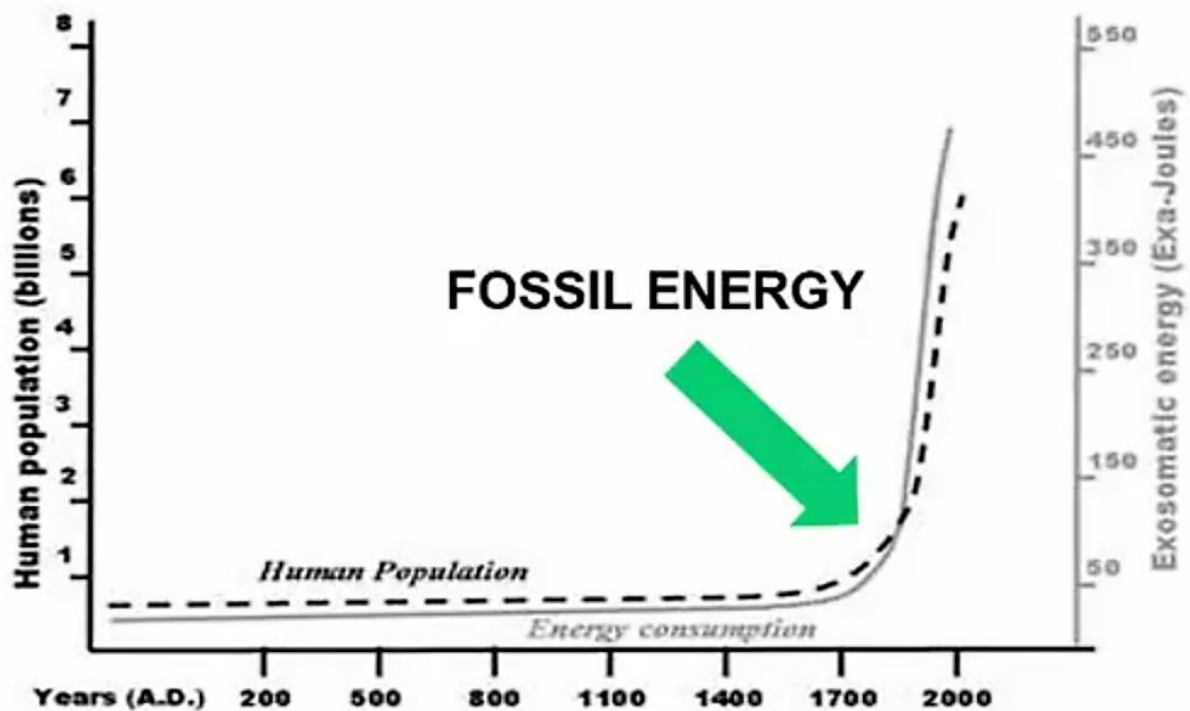
Η ατμόσφαιρα του πλανήτη Γη είναι εκείνη που επιτρέπει την ύπαρξη της ζωής σε αυτόν, προστατεύοντάς τον από την υπεριώδη, ηλιακή ακτινοβολία. Ωστόσο, ενώ χωρίς την προστασία της ατμόσφαιρας η ηλιακή ενέργεια θα ήταν καταστροφική, υπό τις υπάρχουσες συνθήκες, αποτελεί μαζί με το νερό απαραίτητη προϋπόθεση για την ύπαρξη και δημιουργία τροφής. Τα τρία αυτά στοιχεία, ηλιακή ενέργεια, νερό και τροφή, είναι εκείνα που επιτρέπουν τόσο στον άνθρωπο όσο και στα υπόλοιπα είδη να ευδοκιμούν και να διαβιώνουν. Το ανθρώπινο είδος, συγκεκριμένα, απαιτεί ενέργεια, νερό και τροφή ή ένα συνδυασμό των τριών σχεδόν για κάθε δραστηριότητα και τεχνολογία που χρησιμοποιεί σήμερα, όπως επίσης, ο καθένας από εμάς ξεχωριστά καταναλώνουμε νερό, ενέργεια και τροφή σε καθημερινή βάση (Garcia & You, 2016).

Με άλλα λόγια, η εξάρτηση του ανθρώπου από τα συγκεκριμένα αγαθά είναι εμφανής τόσο σε μικροσκοπικό, βιολογικό επίπεδο, όπου το ανθρώπινο σώμα χρειάζεται νερό, ενέργεια και θρεπτικά συστατικά, τα οποία εκλαμβάνει μέσω της τροφής, όσο και σε μακροσκοπικό, κοινωνικό επίπεδο, όπου οι κοινωνίες βασίζονται σε αυτά, ώστε να μπορούν να επιτελούν τις λειτουργίες των συστημάτων τους. Από τη σύσταση των πρώιμων, ακόμη, ανθρώπινων κοινοτήτων, στη συνέχεια στην προ-βιομηχανική κοινωνία, μέχρι και τη σημερινή εκβιομηχανοποιημένη και τεχνολογικά εξελιγμένη κοινωνία, καθίσταται σαφές ότι οι τρεις αυτοί φυσικοί πόροι ήταν, είναι και θα είναι, διαχρονικά, ζωτικής σημασίας για το ανθρώπινο γένος.

Αυτό που, ίσως, δε διακρίνεται με την πρώτη ματιά είναι το σύνολο των πολλών και περίπλοκων σχέσεων αλληλεπίδρασης και αλληλεξάρτησης μεταξύ των τριών αυτών αγαθών. Στην πραγματικότητα, ο άνθρωπος ήταν ανέκαθεν σε θέση να αντιληφθεί σε ένα βαθμό την αλληλένδετη σχέση νερού, ενέργειας και τροφής μέσω της πρακτικής του εμπειρίας. Πέρα από την ευκολότερα αντιληπτή σχέση τροφής-ενέργειας, η οποία, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, δεν είναι άλλη από το γεγονός ότι ο άνθρωπος προσλαμβάνει την ενέργεια που χρειάζεται μέσω της τροφής, επιπρόσθετα, στις προ-βιομηχανικές κοινωνίες, για παράδειγμα, η καλλιέργεια της γης απαιτούσε είτε την ενέργεια που καταναλώνει ο ίδιος ο άνθρωπος με την εργασία του είτε την ενέργεια από την εργασία των ζώων. Έπειτα, στις σύγχρονες, τεχνολογικά αναπτυγμένες κοινωνίες γίνεται χρήση του νερού τόσο στα εργοστάσια ενέργειας όσο και για άρδευση, όπως επίσης, η ενέργεια είναι απαραίτητη για την συλλογή, επεξεργασία και διανομή του νερού τόσο στις αγροτικές περιοχές όσο και στα μεγάλα, αστικά κέντρα.

Η διαφορά είναι ότι, σήμερα, σε αντίθεση με παλιότερα, η ανθρωπότητα δεν έχει πλέον την πολυτέλεια να παραβλέπει τον τρόπο που επηρεάζουν οι δραστηριότητές της, είτε σε τοπικό είτε σε κρατικό είτε σε παγκόσμιο επίπεδο, τους τρεις αυτούς φυσικούς πόρους. Κοιτώντας πιο προσεκτικά, μέχρι και πριν τη βιομηχανική επανάσταση η ανθρωπότητα αναπτυσσόταν με σταθερούς ρυθμούς, καταναλώνοντας, επίσης σταθερά, ενέργεια (Σχήμα 1-1). Ωστόσο, μετά τη βιομηχανική επανάσταση, στο δεύτερο μισό του δέκατου όγδοου αιώνα, παρατηρήθηκε δραματική αύξηση τόσο του παγκόσμιου πληθυσμού όσο και της κατά κεφαλήν καταναλισκόμενης ενέργειας. Αυτό οφείλεται, φυσικά, στην εκμετάλλευση των αποθεμάτων ορυκτών πόρων. Από τότε κι έπειτα, μέσα σε διάστημα 260 περίπου ετών μέχρι σήμερα, η υπερκατανάλωση και η επιδίωξη υψηλής παραγωγικότητας και κέρδους έχουν οδηγήσει στην ανεξέλεγκτη χρήση των φυσικών πόρων, στη μόλυνση των υδάτων, στη ρύπανση της ατμόσφαιρας, στη δημιουργία πόλεων εκεί που πρώτα υπήρχαν δάση, στην επέκταση της καλλιεργήσιμης γης, στην εξάντληση των ορυκτών πόρων και όλα αυτά σε συνδυασμό με έναν ανθρώπινο πληθυσμό ο οποίος έχει σχεδόν επταπλασιαστεί και, όπως είναι φυσικό, έχει προοδευτικά αυξανόμενες ανάγκες. Πιο συγκεκριμένα, η αυξημένη ανθρώπινη δραστηριότητα κατά την περίοδο που ακολούθησε τη δεκαετία του 1950, γνωστή και ως «μεγάλη επιτάχυνση» (great

acceleration), θεωρείται ότι έχει επιφέρει τη μεγαλύτερη καταστροφή στο περιβάλλον (Al-Ansari et al., 2015).



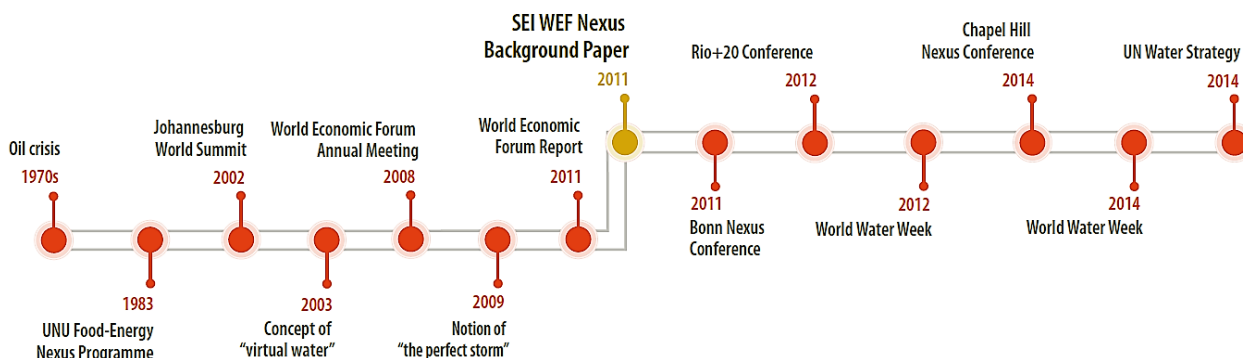
Σχήμα 1-1. Η ιστορική εξέλιξη του ανθρώπινου πληθυσμού και της κατανάλωσης ενέργειας. Πηγή: Coursera.

Η κρίση του πετρελαίου το 1973 κατέστησε σαφές σε διάφορες χώρες που υπέστησαν το εμπάργκο του Οργανισμού Αραβικών Πετρελαιοπαραγωγών Χωρών ή ΟΑΡΕΚ, όπως ο Καναδάς, η Ιαπωνία, η Ολλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο, αλλά κυρίως οι Η.Π.Α, η χώρα με τη μεγαλύτερη κατανάλωση πετρελαίου στον κόσμο, ότι η εξάρτηση από τις εισαγωγές πετρελαίου μπορεί να αποδειχθεί άκρως επικίνδυνη για την ισορροπία του ενεργειακού τους μίγματος, σε σημείο παράλυσης της οικονομίας τους. Από τότε, διάφοροι πρόεδροι των Ηνωμένων Πολιτειών παρουσίασαν ενεργειακές ατζέντες και διακήρυξαν πλήρη αποδέσμευση από τις εισαγωγές πετρελαίου και παράλληλη στροφή σε εγχώριες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με σκοπό και τη μείωση των ρύπων του θερμοκηπίου.

Παρ' όλ' αυτά, η ευαισθητοποίηση της επιστημονικής κοινότητας και ακόμη περισσότερο της παγκόσμιας πολιτικής σκηνής γύρω από τη βιώσιμη ανάπτυξη και την προστασία του περιβάλλοντος ξεκίνησε αρκετά αργότερα (Endo et al., 2017; Roidt & de Strasser, 2018), ενώ, κατά τη διάρκεια της πρώτης δεκαετίας του 2000, ο διάλογος σχετικά με την κλιματική αλλαγή και τη συμβολή του ανθρώπου σε αυτή έγινε εντονότερος και άγγιξε μεγαλύτερο ποσοστό της κοινής γνώμης (Σχήμα 1-2). Αποκορύφωμα της ευαισθητοποίησης αυτής και της αλλαγής του τρόπου σκέψης γύρω από τη διαχείριση των φυσικών πόρων υπήρξε το διεθνές συνέδριο της Βόννης το 2011, το οποίο διοργανώθηκε από τη Γερμανική Ομοσπονδιακή Κυβέρνηση ως προετοιμασία για το συνέδριο «Rio 2012» των Ηνωμένων Εθνών με θέμα τη βιώσιμη ανάπτυξη και είχε τίτλο «The Water, Energy and Food Security Nexus – Solutions for the Green Economy».

Εκεί αρθρώθηκε επίσημα, για πρώτη φορά, ο όρος Nexus, για να περιγράψει τους πολύπλοκους και πολυδιάστατους τρόπους με τους οποίους συνδέονται το νερό, η ενέργεια και η τροφή. Σύμφωνα με το background paper (Hoff, 2011), το οποίο προετοιμάστηκε για το συνέδριο, η έννοια του Water-

Energy-Food Nexus (στο εξής θα αποκαλείται WEFN) γεννήθηκε στη συνείδηση της παγκόσμιας κοινότητας ως αντίδραση στην κλιματική αλλαγή και τις κοινωνικές αλλαγές, συμπεριλαμβανομένων της πληθυσμιακής αύξησης, της παγκοσμιοποίησης, της οικονομικής ανάπτυξης και της αστικοποίησης. Τα προαναφερθέντα φαινόμενα προκαλούν αυξημένη πίεση στο νερό, την ενέργεια και την τροφή, φέρνοντας διάφορες κοινότητες αντιμέτωπες με πιθανές συγκρούσεις μεταξύ των τομέων των τριών αυτών πόρων, οι οποίοι διαθέτουν, ούτως ή αλλιώς, περίπλοκους δεσμούς και αλληλεπιδράσεις (Endo et al., 2017).

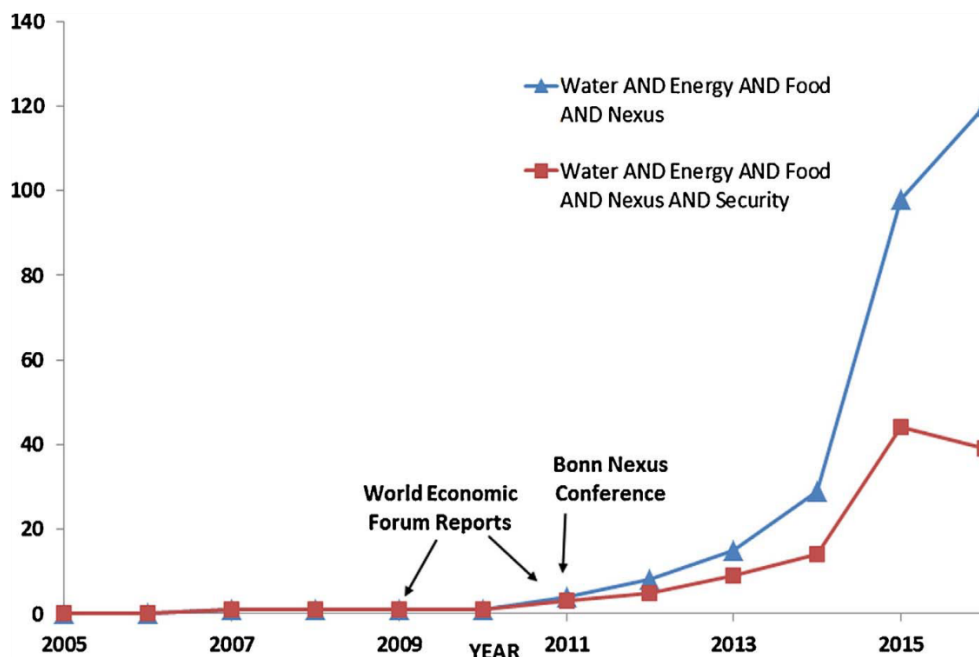


Σχήμα 1-2. Οι χρονολογίες-ορόσημα για τη διαμόρφωση και εξέλιξη της έννοιας του Nexus.

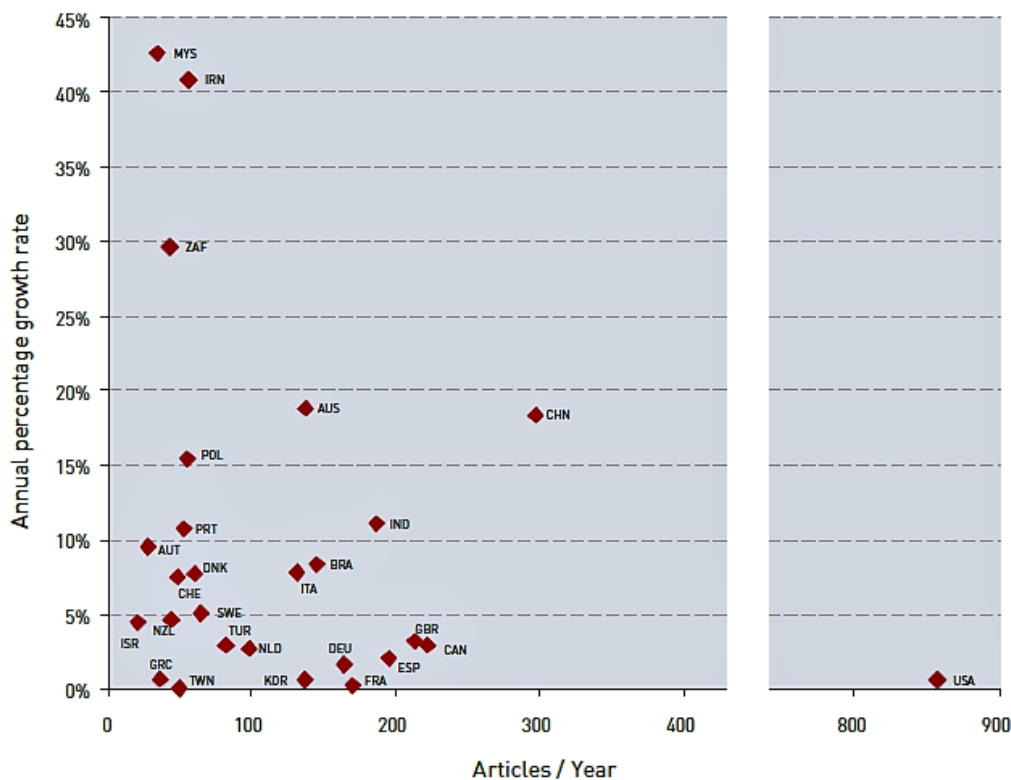
Πηγή: Roidt & de Strasser (2018).

Μετά το συνέδριο της Βόννης, τη δεκαετία που διανύουμε δηλαδή, πληθώρα επιστημονικών άρθρων και πιλοτικών μελετών έχουν συνταχθεί και πραγματοποιηθεί γύρω από το WEFN σε διάφορες χώρες του κόσμου. Η Pahl-Wostl (2017) αναπαριστά σχηματικά την αύξηση του αριθμού των δημοσιεύσεων για το WEFN ανά έτος, όπως προέκυψε ύστερα από αναζήτησή της στις 13/06/2017 στη βάση δεδομένων SCOPUS. Μάλιστα, στο ίδιο γράφημα αντιπαραθέτει τις δημοσιεύσεις σχετικά με την ασφάλεια του νερού, της ενέργειας και της τροφής (Σχήμα 1-3). Ωστόσο, στις περισσότερες από αυτές τις δημοσιεύσεις δεν παρατηρείται σύγκλιση ούτε όσον αφορά τον ορισμό του WEFN ούτε και για το ποια στοιχεία περιλαμβάνει. Πολλοί μελετητές περιλαμβάνουν μερικά μόνο στοιχεία του, όπως ενέργεια-τροφή ή νερό-ενέργεια, ενώ άλλοι προσθέτουν και επιπλέον, όπως νερό-ενέργεια-γη-κλίμα, νερό-ενέργεια-τροφή-κλιματική αλλαγή ή ακόμη και νερό-ενέργεια-τροφή-διακυβέρνηση. Σε συνάρτηση και με τα παραπάνω, η έκθεση των Stockholm International Water Institute and Elsevier (2012) παρουσιάζει για την περίοδο 2007-2011 τις δημοσιεύσεις με θέμα «νερό για την παραγωγή τροφής» ανά έτος και χώρα ύστερα από αναζήτηση και πάλι στο SCOPUS (Σχήμα 1-4). Να σημειωθεί ότι στο σχήμα εμφανίζονται τα ονόματα των χωρών με τις κωδικές ονομασίες που χρησιμοποιούνται επίσημα από την ISO 3166 Maintenance Agency (ISO 3166/MA).

Εκτός αυτών, το WEFN έχει αρχίσει να δέχεται σημαντική προσοχή στις διεθνείς, πολιτικές συζητήσεις για θέματα φυσικών πόρων. Ο όρος Nexus είναι ιδιαίτερα επίκαιρος και η δύναμή του πηγάζει από ένα συνδυασμό διαφορετικών εννοιών και ισχυρής κανονιστικής απήχησης (Cairns & Krzywoszynska, 2016). Σύμφωνα με τους Endo et al. (2017), δεν υπάρχει αυστηρά καθορισμένη έννοια για το Nexus, αλλά, παγκοσμίως, αυτό μεταφράζεται ως μια διαδικασία σύνδεσης ιδεών και δραστηριοτήτων διαφορετικών ενδιαφερόμενων μελών, από διαφορετικούς τομείς και επίπεδα, με σκοπό την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης.



Σχήμα 1-3. Ο αριθμός των δημοσιεύσεων στο SCOPUS με θέμα το WEFN ανά έτος. Πηγή: Pahl-Wostl (2017).



Σχήμα 1-4. Οι δημοσιεύσεις στο SCOPUS με θέμα «νερό για παραγωγή τροφής» ανά έτος και χώρα στο διάστημα 2007-2011. Πηγή: Stockholm International Water Institute and Elsevier (2012).

Είναι γεγονός ότι πολλές και διαφορετικές διατυπώσεις έχουν παρουσιαστεί για το Nexus. Ορισμένες από αυτές το συνδέουν με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης ή SDGs (Sustainable Development Goals) που έχουν θέσει τα Ηνωμένα Έθνη, με σκοπό τη μακροπρόθεσμη βιώσιμη ανάπτυξη της



ανθρώπινης κοινωνίας ως σύνολο και, οι οποίοι δεσμεύουν, συγκεκριμένα, τις χώρες που τους έχουν προσυπογράψει να θέσουν νέους στόχους δράσης, ώστε να πετύχουν βιώσιμη χρήση νερού και ενέργειας και να υιοθετήσουν βιώσιμες γεωργικές πρακτικές, όπως επίσης, να προωθήσουν μια πιο περιεκτική οικονομική ανάπτυξη (United Nations, 2014). Θα μπορούσε να ισχυριστεί κάποιος, ότι το Nexus έχει καθιερωθεί ως ένα εννοιολογικό εργαλείο για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης και έχει γίνει το κέντρο των συζητήσεων σχετικά με την παρακολούθηση των SDGs (Biggs et al., 2015).

Σύμφωνα με άλλους, το WEFN αναπαριστά ένα πολυδιάστατο μέσο της επιστημονικής έρευνας για να περιγράψει τις περίπλοκες και μη-γραμμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του νερού, της ενέργειας και της τροφής με το κλίμα και να κατανοήσει περαιτέρω ευρύτερες επιπτώσεις για την κοινωνία (Howarth & Monasterolo, 2016). Αν προστεθεί στην προηγούμενη πρόταση ότι το WEFN αποτελεί ένα εργαλείο των κυβερνήσεων στην προσπάθεια να διαχειριστούν τους φυσικούς τους πόρους με πρόνοια και επίγνωση για τις πολλαπλές σχέσεις που τους συνδέουν, τότε προκύπτει ένας αρκετά πλήρης ορισμός.

Πολλά επιστημονικά άρθρα πάνω στο θέμα τονίζουν, ακόμη, ότι το νερό, η ενέργεια και η τροφή αποτελούν πόρους θεμελιώδους σημασίας για την ανθρώπινη ζωή, αλλά επηρεάζονται αρνητικά από βίαιες ή σταδιακές διαταραχές, όπως η κλιματική αλλαγή, οι πλημμύρες, οι ξηρασίες κ.ά. Δεδομένης της σύνθετης και πολυδιάστατης φύσης του WEFN, μια διεπιστημονική προσέγγιση για την εξέλιξη της γνώσης και τη συνδιαμόρφωση είναι απαραίτητη, ώστε έγκαιρα και αποτελεσματικά να ενημερώνονται οι θεσμοί λήψης αποφάσεων κι έτσι, η κοινωνία να επανέρχεται γρήγορα μετά από τέτοιου είδους διαταραχές, σε αντίθεση με τη σημερινή μονοτομεακή ερευνητική πρακτική (Howarth & Monasterolo, 2016).

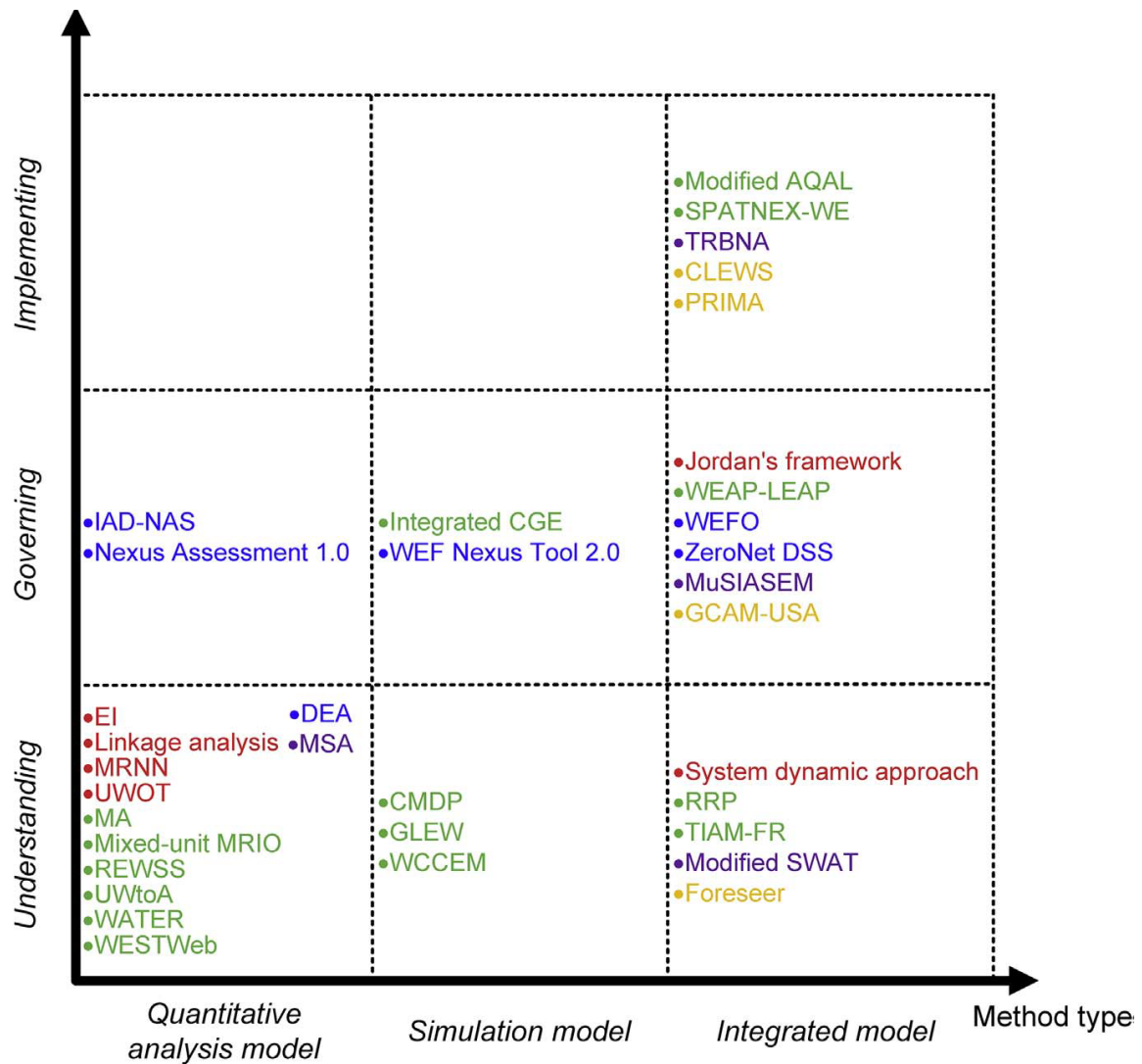
Παρόμοια, τα Ηνωμένα Έθνη σε έκθεσή τους υπογραμμίζουν πως η παγκόσμια κοινότητα έχει επίγνωση των προκλήσεων που υπάρχουν γύρω από το νερό, την ενέργεια και την τροφή, αλλά, μέχρι στιγμής, τις έχει αντιμετωπίσει εντός απομονωμένων τομεακών ορίων. Συνεχίζοντας, αναφέρουν πως για να επιτευχθεί ταυτόχρονα η ασφάλεια και των τριών φυσικών πόρων, οι κυβερνήσεις και τα διάφορα ενδιαφερόμενα μέλη που συμμετέχουν, εν γένει, στη λήψη αποφάσεων, θα πρέπει να συνυπολογίσουν τις διατομεακές επιπτώσεις. Μια τέτοιου είδους προσέγγιση, μέσω της ενίσχυσης του διαλόγου, της συνεργασίας και της σύνθεσης, μπορεί να διασφαλίσει ότι όλες οι συνέργειες, τα οφέλη αλλά και οι αρνητικές επιδράσεις λαμβάνονται υπόψη και ότι υπάρχουν οι απαραίτητες δικλίδες ασφαλείας (United Nations, 2014).

## 1.2 Μέθοδοι εφαρμογής του WEFN

Πέρα από τους διαφορετικούς ορισμούς και τη συμπερίληψη λιγότερων ή περισσότερων από τα τρία βασικά στοιχεία του WEFN, έχουν αναπτυχθεί καινούριες μέθοδοι και μοντέλα ή χρησιμοποιηθεί ήδη υπάρχουσες (π.χ. life cycle assessment), με σκοπό τόσο τη θεωρητική προσέγγισή του όσο και την εφαρμογή του σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Επίσης, στη διεθνή βιβλιογραφία πολλοί είναι εκείνοι που έχουν ασχοληθεί με τον εντοπισμό και την καταγραφή διάφορων τέτοιων μεθόδων ή μοντέλων (Dai et al., 2018; Endo, 2017; Brouwer et al., 2018; Mannan et al., 2018; Albrecht et al., 2018; Shannak et al., 2018; Endo et al., 2017; Kaddoura & El Khatib, 2017; Dargin et al., 2019; Biggs et al., 2015). Στο Σχήμα 1-5 φαίνεται μία διαλογή, όπως έγινε από τους Dai et al. (2018), η οποία, ίσως, να αποτελεί και την πιο ολοκληρωμένη καταγραφή μεθόδων του Nexus που υπάρχει διαθέσιμη στη βιβλιογραφία.

Επιπλέον, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάπτυξη από το UNU-Flores, το Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο των Ηνωμένων Εθνών με βάση τη Γερμανία, μιας πλατφόρμας αναζήτησης κατάλληλων μοντέλων ανάλογα με το πεδίο της έρευνας ή της μελέτης που θέλει να διατελέσει ο χρήστης, όπως, επίσης, και πολλές ακόμα παραμέτρους. Η πλατφόρμα είναι ανοιχτή και δωρεάν για όλους και,

επιπλέον, είναι διαδραστική· δίνει, δηλαδή, τη δυνατότητα στο χρήστη, αφού επιλέξει τα στοιχεία ή τις φυσικές διεργασίες που επιθυμεί να εξετάσει, την περιοχή/χώρα δημιουργίας ή εφαρμογής του μοντέλου, τα τεχνικά χαρακτηριστικά ή τις απαιτήσεις του (π.χ. εγγραφή κώδικα, συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού) και πολλά άλλα, να μπορεί να βλέπει τα αποτελέσματα της αναζήτησης του σε διαγράμματα ή λίστες (απεικονίσεις πραγματικού χρόνου ή real-time visualizations), ώστε να μπορεί να συγκρίνει ή και να συνδυάζει διάφορες επιλογές. Η γενικότερη ιδέα πίσω από την πλατφόρμα, ο τρόπος δημιουργίας της και η επιλογή των άρθρων, καθώς επίσης, ορισμένες εφαρμογές της περιγράφονται από τους Mannschatz et al. (2016), σύμφωνα με τους οποίους, την εποχή της δημοσίευσης του συγκεκριμένου άρθρου η πλατφόρμα αριθμούσε 73 μοντέλα.



• WEN methods • WEEN methods • WEFN methods • WEFEN methods • WELCN methods

Σχήμα 1-5. Διαλογή-ομαδοποίηση διάφορων μεθόδων του Nexus ανάλογα με: α) το είδος της μεθόδου (άξονας χ) β) τη χρήση της (άξονας ψ) και γ) τα στοιχεία του Nexus που περιλαμβάνει (κόκκινο χρώμα=νερό-ενέργεια, πράσινο χρώμα=νερό-ενέργεια-περιβάλλον, μπλε χρώμα=νερό-ενέργεια-τροφή, μωβ χρώμα=νερό-ενέργεια-τροφή-περιβάλλον, κίτρινο χρώμα=νερό-ενέργεια-χρήση γης-κλιματική αλλαγή). Πηγή: Dai et al. (2018).

## 1.3 Τα στοιχεία του WEFN

### 1.3.1 Το νερό

Παρόλο που σε παγκόσμιο επίπεδο υπάρχει αρκετό νερό για να καλύψει τις ανάγκες ενός αυξανόμενου και πλούσιου ανθρώπινου πληθυσμού, η ζήτηση ξεπερνά τη διαθεσιμότητα σε όλο και περισσότερα σημεία του κόσμου, δημιουργώντας οξυμένες ανισότητες (Hoff, 2011). Ο όρος νερό περικλείει διάφορους επιμέρους επιστημονικούς ορισμούς, οι οποίοι μπορούν να διαχωριστούν με βάση ορισμένα φυσικά και τεχνικά χαρακτηριστικά. Αμέσως μετά, παρατίθενται οι εν λόγω ορισμοί:

«Πράσινο νερό» (green water): αναφέρεται σε νερό που βρίσκεται εγκλωβισμένο στο έδαφος, προέρχεται από το νερό της βροχής που έχει διηθηθεί και είναι διαθέσιμο για τα φυσικά αλλά και τα γεωργικά οικοσυστήματα. Είναι εκμεταλλεύσιμο, κυρίως, μέσω της γεωργικής δραστηριότητας (Hoff, 2011). Στον υδρολογικό κύκλο αποτελεί μέρος της ροής της εξατμισοδιαπνοής (Charagain et al., 2006).

«Μπλε νερό» (blue water): αναφέρεται στο φρέσκο νερό, επιφανειακό ή υπόγειο, το οποίο είναι αποθηκευμένο στα ποτάμια, τις λίμνες, τα ρυάκια, τους υπόγειους υδροφορείς, τα παγόβουνα και το χιόνι. Είναι διαθέσιμο για άρδευση, αστική χρήση, όπως και για βιομηχανικές και άλλες χρήσεις. Καθίσταται διαχειρίσιμο, κυρίως, με τη βοήθεια των υδραυλικών υποδομών (Hoff, 2011).

«Γκρι νερό» (grey water): αποτελεί μολυσμένο νερό, το οποίο, όμως, δεν έχει έρθει σε επαφή με περιττώματα ανθρώπου. Είναι το προϊόν που έχει προέλθει από οικιακή χρήση (μπάνιο, πλύσιμο ρούχων, πλύσιμο πιάτων) ή είναι μολυσμένο νερό εξαιτίας της ανάμιξής του με ζιζανιοκτόνα γεωργικής χρήσης ή λιπάσματα. Επιδέχεται επεξεργασία και μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί για άρδευση, δεν μπορεί, όμως, σε καμία περίπτωση να θεωρηθεί πόσιμο. Από τη στιγμή που δεν έχει έρθει σε επαφή με ανθρώπινα απόβλητα, μπορεί να απορροφηθεί από το έδαφος, χωρίς κίνδυνο υποβάθμισης της ποιότητας του υπόγειου νερού. Μπορεί να περιέχει σαπούνι, μικροοργανισμούς προερχόμενους από τη χρήση χημικών ουσιών, ακόμη και τρίχες μαλλιών. Αν το χημικό του περιεχόμενο είναι πολύ υψηλό, η πλειοψηφία των φυτών μπορεί να το διαλύσει. Ωστόσο, αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, συστήνεται ανεπιφύλακτα η αυστηρή παρακολούθηση της περιεκτικότητάς του. Το «γκρι νερό» συλλέγεται, ρέει και διανέμεται μέσω των υδραυλικών έργων που κατασκευάζει ο άνθρωπος σε κάθε περιοχή (The Water Network).

«Μαύρο νερό» (black water): αναφέρεται στο νερό που προέρχεται από τις τουαλέτες. Έχει έρθει σε επαφή με ανθρώπινα περιττώματα, τα οποία περιέχουν παθογόνα βακτήρια και μπορεί να προκαλέσουν ασθένειες. Το «μαύρο νερό» δεν μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί χωρίς τον κίνδυνο μόλυνσης, αφού τα βακτήρια που εμπεριέχει δεν μπορούν να αποσυντεθούν σε ικανοποιητικό βαθμό (Tilley et al., 2014).

Σε αυτό το σημείο, είναι χρήσιμο να γίνει και ο διαχωρισμός μεταξύ επιφανειακού και υπόγειου νερού, τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω. Από τη μία, το επιφανειακό νερό συναντάται σε λίμνες, ποτάμια, ωκεανούς ή σε οποιοδήποτε άλλο υδάτινο σώμα ή περιοχή στην οποία μπορεί να αποθηκευτεί νερό και η οποία βρίσκεται πάνω από το έδαφος. Από την άλλη, το υπόγειο νερό εμφανίζεται κάτω από την επιφάνεια της γης, μέσα στους πόρους του υπεδάφους ή στα κενά και τις ρωγμές που σχηματίζονται μεταξύ των πετρωμάτων του.

Πέρα από τους προαναφερθέντες ορισμούς, υπάρχει και μία επιπλέον, αρκετά διαφορετική και ιδιαίτερη κατηγορία, η οποία, μάλιστα, μπορεί να εμπεριέχει το πράσινο, το μπλε, το γκρι ή, ενδεχομένως, και τα τρία είδη νερού μαζί. Η κατηγορία αυτή δεν είναι άλλη από το «εικονικό νερό» (virtual water), το οποίο ορίζεται ως ο όγκος νερού που απαιτείται για την παραγωγή ενός προϊόντος, είτε γεωργικού είτε κτηνοτροφικού είτε βιομηχανικού, ο οποίος, κατά κάποιον τρόπο, είναι ενσωματωμένος μέσα στο προϊόν (Allan, 1998; Hoekstra & Hung, 2005). Οι Charagain & Hoekstra

(2008) βελτιώσαν τον παραπάνω ορισμό, συμπληρώνοντας πως «εικονικό νερό» θεωρείται ο όγκος νερού που χρειάζεται για να παραχθεί ένα προϊόν, με τα υδρολογικά, εδαφικά και κλιματικά δεδομένα της περιοχής προέλευσής του, εκείνης, δηλαδή, που το εξάγει.

Την τελευταία εικοσαετία, πολλά επιστημονικά άρθρα έχουν επικεντρώσει την έρευνά τους πάνω στο «εικονικό νερό» και το πώς το παγκόσμιο εμπόριο των αγαθών, το οποίο σημαίνει παράλληλα και μεταφορά μεγάλου όγκου νερού σε εικονική μορφή και για μεγάλες αποστάσεις, μπορεί να επηρεάσει την ανακατανομή του μεταξύ χωρών με διαφορετικές διαθεσιμότητες εντός των γεωγραφικών τους συνόρων (Carr et al., 2013; Charagain et al., 2006; Hoekstra & Hung, 2005; Mubako & Lant, 2013). Πολλά κράτη εξοικονομούν με αυτόν τον τρόπο εγχώριο νερό, εισάγοντας προϊόντα με μεγάλες απαιτήσεις/ανάγκες νερού κατά τη διαδικασία παραγωγής τους από κράτη με άφθονη διαθεσιμότητα και εξάγοντας προϊόντα με μικρότερες ανάγκες (Zimmer and Renault, 2003; Charagain et al., 2006). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «παγκοσμιοποίηση του νερού» (globalization of water) και με αυτόν τον τρόπο, στη σημερινή εποχή, οι Ιάπωνες, για παράδειγμα, επηρεάζουν έμμεσα τις υδρολογικές συνθήκες των Ηνωμένων Πολιτειών και οι Ολλανδοί αυτές της Βραζιλίας (Carr et al., 2013; Charagain & Hoekstra, 2008). Κατ' αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται ένα παγκόσμιο δίκτυο «ροών εικονικού νερού» (virtual water flows) (Hoekstra & Hung, 2005), η παρακολούθηση του οποίου είναι ιδιαίτερα δύσκολη, μιας και, στην πράξη, ο εντοπισμός της προέλευσης όλων των εξαγόμενων προϊόντων είναι αδύνατος.

Τελευταία αλλά εξίσου σημαντική είναι η διάκριση μεταξύ απόληψης και κατανάλωσης νερού. Ο όρος απόληψη (withdrawal) αναφέρεται σε νερό που έχει αφαιρεθεί από μια πηγή για να χρησιμοποιηθεί για κάποια ανθρώπινη ανάγκη. Περιγράφει, ουσιαστικά, την κατάσταση όπου ένας χρήστης δεσμεύει ποσότητα νερού, την οποία, όμως, επιστρέφει ολόκληρη στη λεκάνη απορροής από όπου την αφαίρεσε, όταν ολοκληρώσει τον κύκλο εργασιών του, χωρίς να προκαλέσει οποιαδήποτε ποιοτική υποβάθμιση. Με τον όρο κατανάλωση (consumption), αντίθετα, εννοούμε νερό το οποίο μετά την απόληψη και χρήση του δεν μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί στην ίδια λεκάνη απορροής, εξαιτίας μη αναστρέψιμων απωλειών, συμπεριλαμβανομένης της εξατμισοδιαπνοής, της μεταφοράς σε άλλη λεκάνη, της διαρροής σε υπέδαφος με υψηλή αλατότητα, της μόλυνσης κ.ά. (Pacific Institute, 2011). Στη συνέχεια, σε διάφορα σημεία του κειμένου αναφέρεται ο γενικός όρος «χρήση νερού» για να περιγράψει είτε απόληψη είτε κατανάλωση, ανάλογα με το νόημα της κάθε πρότασης.

### 1.3.2 Η ενέργεια

Όσον αφορά την ενέργεια, στα πλαίσια μιας ανάλυσης WEFN δεν αρκεί και δε θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο να δώσουμε απλά έναν γενικό ορισμό. Αντίθετα, είναι σημαντικό να διακρίνουμε συγκεκριμένες κατηγορίες και είδη ενέργειας.

Η ενέργεια, με τη μορφή που την αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος, είναι το προϊόν (ηλεκτρισμός, θερμότητα) της εκμετάλλευσης κάποιου φυσικού πόρου (άνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου, ουρανίου, πλουτωνίου, νερού, αέρα, ηλιακής ακτινοβολίας), συνήθως, μέσα από μία συγκεκριμένη, βιομηχανική διαδικασία. Έτσι, οι φυσικοί πόροι αποτελούν πρωτογενείς πηγές ενέργειας (primary energy sources) και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας τους, όπως για παράδειγμα το ηλεκτρικό ρεύμα, αποτελούν τους φορείς της ενέργειας (energy carriers). Εκτός, όμως, από φορείς ενέργειας ο άνθρωπος, συχνά, χρησιμοποιεί απευθείας τους φυσικούς πόρους, όπως πετρέλαιο/φυσικό αέριο για θέρμανση στα κτίρια ή ντίζελ/βενζίνη για τις μεταφορές, χωρίς να μεσολαβεί η μετατροπή τους σε φορείς ενέργειας παρά μόνο κάποια απαιτούμενη επεξεργασία της πρώτης ύλης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πρωτογενείς πηγές ενέργειας δε βρίσκονται υπό τον έλεγχο του ανθρώπου. Η διαθεσιμότητά τους αποτελεί αναγκαία και ικανή προϋπόθεση, έτσι ώστε ο άνθρωπος να μπορέσει να τις εκμεταλλευτεί. Επιπρόσθετα, οι φορείς ενέργειας απαιτούν για τη δημιουργία τους όχι μόνο τους κατάλληλους φυσικούς πόρους αλλά και επιπλέον φορείς ενέργειας (Coursera). Δηλαδή, ένα

εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής εκτός από τον πρωτογενή φυσικό του πόρο απαιτεί, επιπλέον, μια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία του. Αυτή η απαίτηση αποτελεί τον Υπερκύκλο του ηλεκτρικού τομέα (Giampietro et al., 2013).

Ανάλογα, τώρα, με το είδος του φυσικού πόρου που χρησιμοποιείται, διακρίνονται δύο επιπλέον υποκατηγορίες ενέργειας. Η πρώτη είναι η μη ανανεώσιμη ενέργεια, η οποία παράγεται είτε από την καύση ορυκτών καυσίμων είτε από τη σχάση πυρηνικών-συνήθως ουρανίου. Τα ορυκτά καύσιμα έχουν σχηματιστεί πριν από εκατοντάδες εκατομμύρια έτη και βρίσκονται αποθηκευμένα στο υπέδαφος. Τα αποθέματα είναι πεπερασμένα και η εκμετάλλευσή τους εξαρτάται από οικονομικούς παράγοντες (Μαμάσης κ.ά., 2016). Η δεύτερη κατηγορία είναι η ανανεώσιμη ή πράσινη ενέργεια, η οποία βασίζεται στην εκμετάλλευση φυσικών φαινομένων, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού, τα κύματα, η παλίρροια κ.ά. Οι ανανεώσιμες, πρωτογενείς πηγές ενέργειας είναι διαχρονικές αλλά συνδεδεμένες με φυσικά φαινόμενα που παρουσιάζουν τυχαιότητα. Η διαδικασία της εκμετάλλευσής τους δεν αποδεσμεύει διοξείδιο του άνθρακα, τοξικά ή ραδιενεργά απόβλητα (Μαμάσης κ.ά., 2016). Είναι γεγονός πως οι συγκεκριμένες πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο τις τελευταίες δεκαετίες και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης. Ωστόσο, ειδικά σε σύγκριση με τη χρήση των μη ανανεώσιμων πηγών, αποτελούν, ακόμη, μικρό ποσοστό παγκοσμίως.

Ένας τελευταίος διαχωρισμός, που είναι σημαντικό να αναφερθεί, αφορά τα εργοστάσια παραγωγής και το είδος της ενέργειας που παράγουν ως προς τη χρονική κατανομή είτε της διαθεσιμότητας των φυσικών πόρων είτε της ζήτησης. Τα είδη αυτά είναι η ενέργεια βάσης, η ενέργεια μέγιστης ζήτησης ή ενέργεια αιχμής και η διακοπτόμενη ενέργεια. Τα πυρηνικά ή τα λιγνιτικά εργοστάσια, για παράδειγμα, παράγουν ενέργεια βάσης. Δηλαδή, παρόλο που δεν είναι ευέλικτα στη ρύθμιση του ποσού της ενέργειας που παράγουν, η ενέργεια αυτή είναι σταθερή, αξιόπιστη και καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό της ζήτησης. Τα εργοστάσια φυσικού αερίου και τα υδροηλεκτρικά από την άλλη, έχουν τη δυνατότητα να διαμορφώνουν, να ξεκινούν και να σταματούν, δηλαδή, την παραγωγή ενέργειας μέσα σε λεπτά ή ακόμη και σε δευτερόλεπτα. Αυτό τους δίνει τη δυνατότητα να προσαρμόζονται ανάλογα με τη ζήτηση και να είναι διαθέσιμα για την κάλυψη των αιχμών της. Ωστόσο, θα μπορούσε κάποιος να πει, ότι δεν εκμεταλλεύονται πλήρως την επένδυση κεφαλαίου τους, επειδή δε χρησιμοποιούν συνεχώς ολόκληρο το δυναμικό τους. Είναι γεγονός, λοιπόν, πως η πρώτη κατηγορία εργοστασίων έχει μεγαλύτερους συντελεστές απόδοσης από τη δεύτερη, αυτό, όμως, συμβαίνει, επειδή η τελευταία δε λειτουργεί σε μόνιμη βάση (Coursera).

Η τρίτη κατηγορία εργοστασίων, στην οποία ανήκουν οι αιολικές γεννήτριες και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, δεν παράγει ούτε ενέργεια βάσης ούτε ενέργεια αιχμής. Αυτό το είδος εργοστασίων παράγει ενέργεια όποτε υπάρχει επαρκής αέρας για να κινήσει τα πτερύγια που συνδέονται με την ανεμογεννήτρια ή όποτε υπάρχει ικανοποιητική ηλιοφάνεια· πράγμα που σημαίνει ότι, συχνά, παράγουν ενέργεια όταν δεν υπάρχει ζήτηση. Έτσι, η ενέργεια αυτή, εφόσον δεν αποθηκεύεται, χάνεται. Όταν δίνεται προτεραιότητα στα εργοστάσια της τρίτης κατηγορίας, αυτά μπορούν να καλύψουν ένα ποσοστό της ενέργεια βάσης, αλλά είναι απαραίτητη η υποστήριξή τους από υποδομές και εργοστάσια της πρώτης κατηγορίας, έτσι ώστε να μην καταρρεύσει το ενεργειακό δίκτυο παροχής σε περίπτωση διακοπής της λειτουργίας τους. Γι' αυτό το λόγο, ενώ τα τελευταία χρόνια αυξάνονται όλο και περισσότερο τα αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα, η αύξηση αυτή δεν έχει σηματοδοτήσει και αντίστοιχη μείωση των εργοστασίων άνθρακα, λόγου χάρη. Πρέπει να σημειωθεί, ότι γίνεται σημαντική έρευνα γύρω από τη δημιουργία τεχνολογιών αποθήκευσης της διακοπτόμενης ενέργειας, όπως είναι, παραδείγματος χάρη, οι μεγάλες μπαταρίες (Coursera).

### 1.3.3 Η τροφή

Ο άνθρωπος, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, προσλαμβάνει την απαραίτητη ενέργεια για την επιβίωσή του μέσω της τροφής. Ξεκινώντας από τον προϊστορικό άνθρωπο, παρατηρούμε ότι

εξασφάλιζε την τροφή του απευθείας από το φυσικό του περιβάλλον, είτε συλλέγοντας καρπούς είτε σκοτώνοντας ζώα. Εκείνη την εποχή, ο άνθρωπος ήταν υπεύθυνος ο ίδιος να θρέψει τον εαυτό του και την οικογένειά του. Προχωρώντας προς τον άνθρωπο πριν από τη βιομηχανική επανάσταση διαπιστώνουμε, ότι παρήγαγε την τροφή του μέσω της γεωργίας και της κτηνοτροφίας, σεβόμενος, όμως, το ρυθμό των φυσικών ροών (κύκλος του νερού, κύκλος του αζώτου, κύκλος του φωσφόρου), αναπτύσσοντας, δηλαδή, αγρο-οικοσυστήματα (low external input agriculture). Εκείνη την περίοδο, ο άνθρωπος παρήγαγε και πάλι ο ίδιος την τροφή που χρειαζόταν αυτός και η οικογένειά του (Coursera).

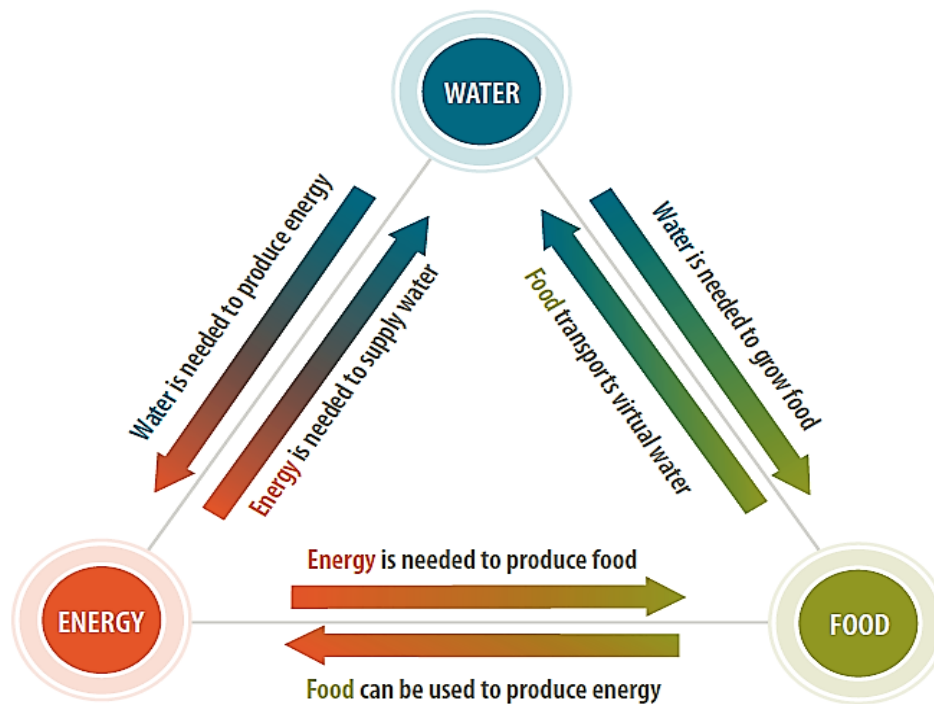
Φτάνοντας, τώρα, στο σύγχρονο άνθρωπο, είναι σαφής η εντατικοποίηση της γεωργίας μέσω της εκτεταμένης άρδευσης, της χρήσης λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και γεωργικών μηχανημάτων (high external input agriculture). Ιστορικό σημείο καμπής στην εξέλιξη του τρόπου παραγωγής αποτέλεσε, όπως και στην περίπτωση της ενέργειας, η βιομηχανική επανάσταση, η οποία σηματοδότησε τη μετάβαση από την αγρο-οικολογική στην εντατικοποιημένη γεωργία. Επίσης, η παράλληλη, ραγδαία αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού, του βιοτικού του επιπέδου και επομένως, των παγκόσμιων αναγκών σε τρόφιμα, ανέδειξε επιτακτική την ανάγκη αύξησης της παραγωγικότητας ανά τμήμα καλλιεργήσιμης γης και της παραγωγικότητας ανά εργαζόμενο ή ανά ώρα εργασίας (Coursera). Σήμερα, ενώ στις τροπικές περιοχές η κάλυψη των αναγκών τροφής πραγματοποιείται εξαιτίας της επέκτασης της καλλιεργήσιμης γης (αλλαγή χρήσης), τις περισσότερες φορές σε βάρος των τροπικών δασών, σε άλλες περιοχές καίριο ρόλο παίζουν τα πρόσθετα χημικά και οι νέες τεχνολογίες (Hoff, 2011).

Είναι σημαντική η παρατήρηση, ότι η τροφή δεν αποτελεί ένα ακόμη αγαθό που καταναλώνει ο άνθρωπος, αλλά είναι κάτι ιδιαίτερο, πράγμα που δεν έχει να κάνει με την αναγκαιότητα του ανθρώπου να την καταναλώσει. Το φαγητό κουβαλάει τα χαρακτηριστικά και την ιστορία του τόπου του. Έτσι, το είδος των τροφίμων αλλά και των συνταγών, ακόμη, στις οποίες αυτά ενσωματώνονται, αντανακλά τις προτιμήσεις (ταυτότητα) των καταναλωτών, οι οποίες εξαρτώνται, εν πολλοίς, από τη γεωγραφία, το κλίμα και τα χαρακτηριστικά (ταυτότητα) των παραγωγών, τα οποία, με τη σειρά τους, μπορεί να εξαρτώνται τόσο από τους διαθέσιμους φυσικούς πόρους της εκάστοτε περιοχής όσο και από την κοινωνική και οικονομική κατάσταση των αγροτών-κτηνοτρόφων. Σε ένα παγκοσμιοποιημένο σύστημα παραγωγής τροφίμων, βέβαια, όπου το εμπόριο μεταξύ μακρινών περιοχών κυριαρχεί, η κατάσταση περιπλέκεται και οι καταναλωτές δεν καταναλώνουν μόνο τροφές που ανήκουν στην κουλτούρα τους, αλλά διευρύνουν τις επιλογές τους, με αποτέλεσμα οι παραγωγοί να μη βρίσκονται απαραίτητα στην ίδια περιοχή με τους καταναλωτές (Coursera).

#### 1.4 Οι αλληλεπιδράσεις των στοιχείων του WEFN

Όπως έχει καταστεί σαφές μέχρι τώρα, οι σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των στοιχείων του WEFN είναι ιδιαίτερα δύσκολο να παρακολουθηθούν κι αυτό συμβαίνει για δύο λόγους: α) διότι η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων απαιτεί τη συνεργασία όλων των παρόχων και χρηστών, των παραγωγών και καταναλωτών και, φυσικά, την οργανωμένη, διατομεακή συνεργασία. Η έλλειψη δεδομένων και τα κενά στην πληροφορία σε συνδυασμό με την έλλειψη κατάλληλων υπολογιστικών και προσομοιωτικών εργαλείων καθιστούν τη διαχείριση με βάση το εννοιολογικό πλαίσιο του WEFN εξίσου δύσκολη (Liu, 2017). β) Διότι, πολλές φορές, δεν αρκεί να αναγνωρίσει κάποιος τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μεταβλητών του WEFN μόνο σε πρώτο επίπεδο (π.χ. χρήση ενέργειας για παροχή νερού), αφού ενδέχεται αυτές να φτάνουν σε δεύτερο, τρίτο ή και ακόμη μεγαλύτερο επίπεδο (π.χ. χρήση ενέργειας για παροχή νερού, με απώτερο σκοπό την άρδευση καλλιεργειών ή χρήση ενέργειας για παροχή νερού, απαραίτητου για την άρδευση ενεργειακών καλλιεργειών, με τελικό στόχο την παραγωγή βιοκαυσίμων κ.ο.κ.). Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι είναι πολύ πιθανό να δημιουργούνται βρόχοι ανατροφοδότησης, όπως στο τελευταίο παράδειγμα με τα βιοκαύσιμα. Οι Laspidou et al. (2018) παρουσίασαν ένα πλαίσιο («The Nexus Tree») για να αποδώσουν τα διάφορα επίπεδα σύνδεσης των στοιχείων του WEFN, προσθέτοντας, μάλιστα, σε αυτά τις χρήσεις γης και το κλίμα, χωρίς, όμως, να συμπεριλάβουν τους προαναφερθέντες βρόχους.

Με στόχο το ξεδίπλωμα των πολυσχιδών πτυχών του WEFN, παρακάτω αναπτύσσονται οι διμερείς σχέσεις των στοιχείων του και οι αλληλεπιδράσεις τους, με ανάλυση είτε πρώτου είτε μεγαλύτερου επιπέδου. Πρώτα, όμως, αυτές παρουσιάζονται στο Σχήμα 1-6.



Σχήμα 1-6. Οι αλληλεπιδράσεις των στοιχείων του WEFN. Πηγή: United Nations University-UNU Flores.

#### 1.4.1 Νερό για ενέργεια

Σύμφωνα με την IEA (2018), ο τομέας της ενέργειας ευθύνεται για σχεδόν 10% των παγκόσμιων απολήψεων νερού και για 3% της παγκόσμιας κατανάλωσης. Μέχρι το 2040, όπως εκτιμάται από την ίδια έκθεση, οι απολήψεις του ίδιου τομέα θα αυξηθούν λιγότερο από 2%, αλλά η κατανάλωση θα φτάσει το 60%. Νερό απαιτείται για την εξόρυξη, τη μεταφορά, την επεξεργασία και τη διύλιση των ορυκτών καυσίμων, τη διάθεση των αποβλήτων που προκύπτουν από τις παραπάνω διεργασίες, την ψύξη των θερμοηλεκτρικών εργοστασίων, τη λειτουργία των υδροηλεκτρικών σταθμών και την καλλιέργεια φυτών τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Εκτός αυτών, ορισμένες ποσότητες νερού είναι απαραίτητες και για την κατασκευή και συντήρηση των υποδομών του τομέα της ενέργειας, οι οποίες, φυσικά, είναι μηδαμινές σε σχέση με τις ποσότητες που απαιτούνται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των σταθμών και των εργοστασίων (Hoff, 2011; International Renewable Energy Agency, 2015). Σημαντική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός, ότι ο τομέας της παραγωγής βιοκαυσίμων μπορεί να γίνει πολύ πιο απαιτητικός σε νερό σε σχέση με τον τομέα της παραγωγής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα (Gerbens-Leenes et al., 2009). Κάτι αντίστοιχο με τα βιοκαύσιμα συμβαίνει και με τα υδροηλεκτρικά, όταν αυτά συνοδεύονται από ταμιευτήρες, εξαιτίας των υψηλών απωλειών σε νερό που καταγράφουν λόγω εξάτμισης.

Όπως, όμως, διευκρινίστηκε αναλυτικά παραπάνω (1.3.1), το νερό χωρίζεται σε διάφορες κατηγορίες. Έχει παρατηρηθεί, ότι ορισμένες περιοχές, όπως η Ινδία, χρησιμοποιούν κυρίως «μπλε νερό», μέσω της άντλησης από υπόγειους υδροφορείς, με σκοπό την άρδευση καλλιεργειών για την παραγωγή βιοκαυσίμων, ενώ άλλες, όπως η Βραζιλία, βασίζονται στο νερό της βροχής ή αλλιώς «πράσινο νερό» για τον ίδιο λόγο (Hoff, 2011). Επίσης, κάποιοι χρήστες νερού που ανήκουν στον τομέα της ενέργειας

είναι παράλληλα και καταναλωτές, ενώ κάποιοι άλλοι όχι. Παραδείγματος χάρη, οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί με σύστημα ψύξης closed-loop δε δεσμεύουν τόσο μεγάλες ποσότητες νερού, άλλα καταναλώνουν πολύ μεγάλο ποσοστό αυτών. Αντίθετα, εκείνοι με σύστημα ψύξης once-through χρησιμοποιούν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες, χωρίς, όμως, να τις καταναλώνουν. Ωστόσο, το πρόβλημα με τους δεύτερους είναι, ότι, πολλές φορές, το νερό επιστρέφει στο περιβάλλον σε αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες, πράγμα που είναι ιδιαίτερα επιβλαβές για τα ενδημικά είδη ψαριών που ζουν στους ποταμούς όπου αυτό αποτίθεται. Από την άλλη πλευρά, οι παράκτιοι σταθμοί χρησιμοποιούν θαλασσινό νερό και όχι γλυκό (Hoff, 2011).

Οι παρατηρήσεις αυτές οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι αφενός η αντικατάσταση της μη ανανεώσιμης ενέργειας με ανανεώσιμη δε σημαίνει απαραίτητα και μείωση της κατανάλωσης νερού και αφετέρου ότι η σύγκριση της παραγωγικότητας του νερού ή του κόστους ευκαιρίας μεταξύ διαφορετικών χρήσεων του απαιτεί τη συλλογή και επιπλέον στοιχείων για να θεωρηθεί βάσιμη (Hoff, 2011).

#### 1.4.2 Ενέργεια για νερό

Έχει υπολογιστεί, ότι το 2014 4% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώθηκε για διεργασίες σχετικές με το νερό, ενώ μέχρι το 2040 η ποσότητα αυτή προβλέπεται να διπλασιαστεί (IEA, 2018). Ενέργεια απαιτείται για την εκτροπή, την άντληση, τη μεταφορά, τη διανομή και την επεξεργασία του νερού πριν και μετά από οποιαδήποτε χρήση του (Hoff, 2011; International Renewable Energy Agency, 2015). Συγκεκριμένα, ο βιολογικός καθαρισμός και η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού αποτελούν δύο διεργασίες πολύ ενεργοβόρες, ενώ η αφαλάτωση του υφάλμυρου νερού είναι λιγότερο απαιτητική σε ενέργεια σε σχέση με την προαναφερθείσα (Hoff, 2011). Επίσης, η άντληση του υπόγειου νερού, από το οποίο, κατά τους Siebert et al. (2010), προέρχεται σχεδόν το μισό από το συνολικά καταναλισκόμενο, αρδευτικό νερό σε παγκόσμια κλίμακα, απαιτεί περισσότερη ενέργεια συγκριτικά με την απόληψη του επιφανειακού νερού, με αποτέλεσμα σε πολλές χώρες να αντιπροσωπεύει μέχρι και το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (World Economic Forum Water Initiative, 2011).

#### 1.4.3 Νερό για τροφή

Η άρδευση, η οποία αποτελεί γεωργική πρακτική, ευθύνεται για σχεδόν 70% της απόληψης και 90% της κατανάλωσης νερού παγκοσμίως. Αυτό την καθιστά με διαφορά το μεγαλύτερο χρήστη νερού (Siebert, 2010). Είναι σημαντικός ο διαχωρισμός μεταξύ αρδευόμενης και μη γεωργίας, διότι το «μπλε» ή «πράσινο νερό», αντίστοιχα, διαθέτουν διαφορετικές εναλλακτικές χρήσεις και επομένως και διαφορετικά κόστη ευκαιρίας και ενεργειακές απαιτήσεις. Η εκτροφή των ζώων, η οποία περιλαμβάνεται, εν γένει, στον όρο γεωργία, περιπλέκει την παρακολούθηση της χρήσης του νερού ακόμη περισσότερο (Hoff, 2011). Υπολογίζεται ότι περισσότερο από το 1/3 των καλλιεργειών παγκοσμίως χρησιμοποιείται ως τροφή για τα ζώα και όχι για απευθείας κατανάλωση από τον άνθρωπο (Foley, 2011).

Φυσικά, η χρήση νερού για άρδευση επιφέρει και πολλές αρνητικές επιπτώσεις. Μερικές από αυτές είναι η υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους, η αλλοίωση της ροής των ποταμών στις περιπτώσεις των εκτροπών, η εξάντληση των υπόγειων υδροφορέων και η αλλαγή της ποιότητας του νερού (π.χ. ευτροφισμός). Η υποβάθμιση της ποιότητας και η διάβρωση του εδάφους δεν μειώνουν μόνο την υδατική του αποθηκευτικότητα, αλλά, επιπρόσθετα, μεταφέρουν φερτά σε κατάντη ταμιευτήρες, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο διαθέσιμος όγκος αποθήκευσης νερού και κατ' επέκταση, να μειώνεται και η παραγωγή ενέργειας (Hoff, 2011).

#### 1.4.4 Τροφή για νερό

Αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ τροφής και νερού αποτυπώνεται μέσω του «εικονικού νερού». Πολλές περιοχές του κόσμου δεν έχουν τη δυνατότητα γεωργικής ανάπτυξης. Αυτό οφείλεται σε τρεις



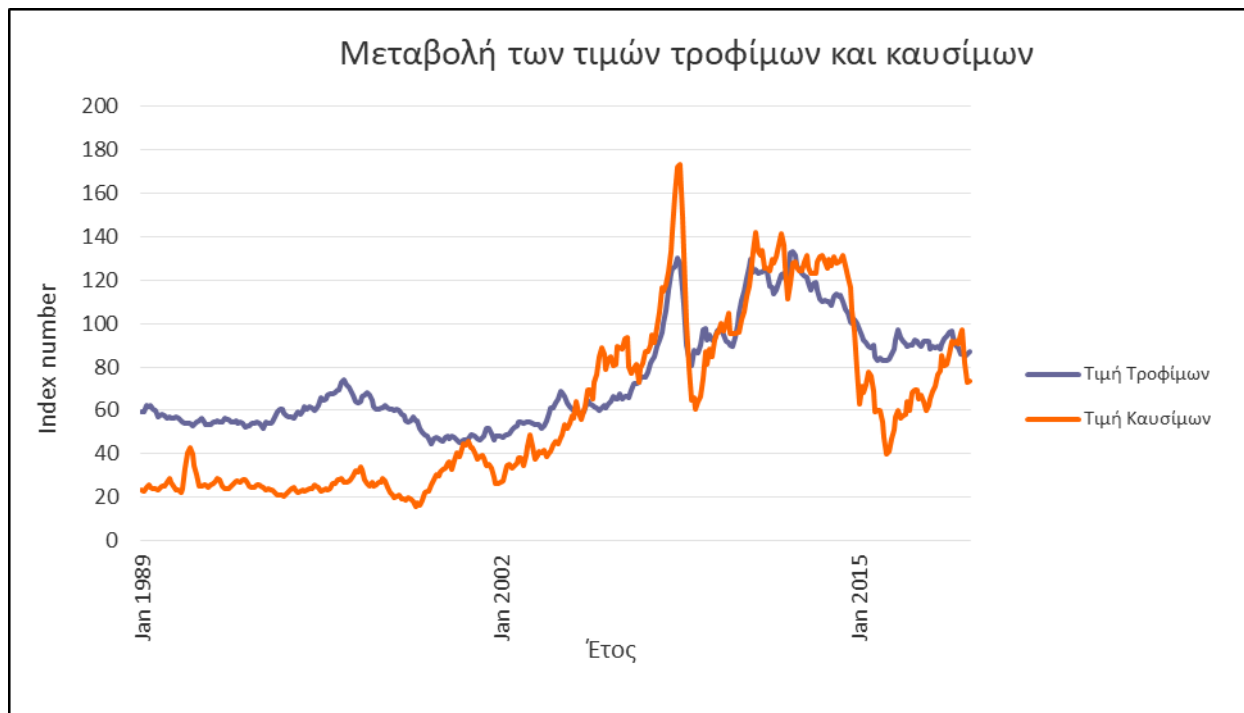
κατηγορίες αιτιών: α) ενδέχεται κάποια περιοχή να μη διαθέτει τους απαραίτητους φυσικούς πόρους (π.χ. νερό, εύφορα εδάφη, καλλιεργήσιμες εκτάσεις κ.λπ.) για να το κάνει. Για παράδειγμα, η Ιορδανία αντιμετωπίζει πολύ μεγάλη έλλειψη νερού, πράγμα που σε συνδυασμό με την έρημο που κυριαρχεί στα εδάφη της καθιστά πολύ δύσκολη τη γεωργική καλλιέργεια, τουλάχιστον όσον αφορά τις περισσότερες τροφές. Από την άλλη πλευρά, η έλλειψη διαθέσιμης γης στη Σιγκαπούρη δεν αφήνει περιθώρια γεωργικής ανάπτυξης. β) Είναι πιθανό η περιοχή αυτή να μη διαθέτει τα απαραίτητα μέσα (αρδευτικό σύστημα, γεωργικά μηχανήματα, λιπάσματα ή φυτοφάρμακα, εργατικό δυναμικό) ή να μην έχει πρόσβαση σε ενέργεια, ώστε να μπορέσει να εγκαθιδρύσει ένα σταθερό γεωργικό μοντέλο, που θα της προσφέρει αυτάρκεια όσον αφορά την τροφή. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν, κυρίως, φτωχές χώρες, όπως, λόγω χάρη, πολλές που απαντώνται στην Αφρική. Συχνά, στις χώρες αυτές παρατηρείται γεωργική δραστηριότητα σε απομακρυσμένες περιοχές, η οποία δεν είναι οργανωμένη και δε διαθέτει τα σύγχρονα μέσα. γ) Μπορεί μία περιοχή να μην «επιθυμεί» την ανάπτυξη της γεωργίας, αλλά να προτιμά άλλες δραστηριότητες, ενδεχομένως, πιο προσοδοφόρες. Ένα τέτοιο παράδειγμα, θα μπορούσε να αποτελεί η πολιτεία της Νέας Υόρκης.

Οι τρεις αυτές κατηγορίες συμπίπτουν με τους παράγοντες που, σύμφωνα με τους Giampietro et al. (2013), πρέπει να ελέγχει κανείς, όταν κάνει μια προσομοίωση του Nexus και εξετάζει διάφορα σενάρια. Όπως αναφέρονται στη βιβλιογραφία και κατ' αντιστοιχία με τις παραπάνω κατηγορίες, οι παράγοντες αυτοί είναι οι εξής: *feasibility*, *viability*, *desirability*. Σύμφωνα με τους Giampietro et al. (2013), ο όρος *feasibility* αποτυπώνει κατά πόσο συμβαδίζουν οι διαθέσιμοι φυσικοί πόροι με τη ζήτηση της κοινωνίας, ο όρος *viability* περιγράφει κατά πόσο η ζήτηση που προέρχεται από την κοινωνία είναι επιτεύξιμη με τα μέσα που αυτή διαθέτει, είτε αυτά είναι τεχνητά είτε πρόκειται για διαθέσιμο εργατικό δυναμικό. Τέλος, ο όρος *desirability* αναφέρεται στο κατά πόσο μία δραστηριότητα συμβαδίζει με τον ηθικό ή οικονομικό κώδικα μιας κοινωνίας.

Ολοκληρώνοντας, και οι τρεις αυτές κατηγορίες περιοχών προμηθεύονται την τροφή που χρειάζονται ή ένα μέρος αυτής μέσω του εμπορίου και άρα μαζί με τα τρόφιμα εισάγουν και «εικονικό νερό».

#### 1.4.5 Ενέργεια για τροφή

Πολύ συνοπτικά, μιας και έχει γίνει αναφορά και παραπάνω, η σημερινή, εντατικοποιημένη γεωργία, η οποία απαιτεί τη χρήση πολλών χημικών, μηχανημάτων και αρδευτικού νερού, συνεπάγεται μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση. Συγκεκριμένα, υπολογίζεται ότι 30% της παγκόσμιας ενέργειας καταναλώνεται από την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011). Η ισχυρή αυτή εξάρτηση ανακλάται και στην υψηλή συσχέτιση μεταξύ των τιμών του πετρελαίου και των γεωργικών προϊόντων (Kim, 2009; Bazilian et al., 2011). Στο Σχήμα 1-7, το οποίο δημιουργήθηκε με δεδομένα από την ιστοσελίδα *IndexMundi*, απεικονίζεται ακριβώς αυτή η συσχέτιση.



Σχήμα 1-7. Η συσχέτιση μεταξύ της μεταβολής των τιμών των τροφίμων και των τιμών των καυσίμων για το διάστημα 1989-2019.

#### 1.4.6 Τροφή για ενέργεια

Κλείνοντας την αναφορά στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων του WEFN, γίνεται λόγος ξανά για τα βιοκαύσιμα, για τα οποία οι διάφορες απόψεις αλλά και πολιτικές δίστανται. Εφόσον τα βιοκαύσιμα προκύπτουν από την καλλιέργεια ενεργειακών φυτών, αυτό σημαίνει ότι για τη δημιουργία τους ακολουθείται μία αλυσίδα παραγωγής, όμοια με οποιοδήποτε άλλου φυτού, το οποίο προορίζεται για κατανάλωση άμεσα από τον άνθρωπο ή έμμεσα από τα ζώα και στη συνέχεια από τον άνθρωπο. Σύμφωνα με έναν εμπειρικό κανόνα, χρειάζεται περίπου η ίδια ποσότητα νερού για την παραγωγή ενός λίτρου υγρού βιοκαύσιμου και για την παραγωγή τροφής για ένα άτομο για μία μέρα (WWDR, 2009). Σαν αποτέλεσμα, τα βιοκαύσιμα είναι ανταγωνιστές των τροφίμων όσον αφορά τη χρήση του νερού, της ενέργειας και της γης που απαιτούνται για την παραγωγή τους, γεγονός που δύναται να μειώσει την ανοχή του γεωργικού συστήματος σε ενδεχόμενες διαταραχές (π.χ. περιβαλλοντικές ή οικονομικές).

#### 1.5 Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι, όπως φανερώνει και ο τίτλος της, η διερεύνηση του τρόπου και η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της διαχείρισης του νερού, της ενέργειας και της τροφής στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών. Ύστερα από εκτεταμένη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων σχετικά με το πώς παράγονται, εισάγονται ή εξάγονται και διανέμονται οι φυσικοί αυτοί πόροι, όπως επίσης, σχετικά με το πώς αλληλοεπηρεάζονται, αλληλοβοηθούνται ή ανταγωνίζονται, επιδιώχθηκε η αξιολόγηση των παραπάνω με βάση τη διατομεακή συνεργασία που προωθεί το εννοιολογικό πλαίσιο WEFN. Η ανάλυση που ακολουθεί στα επόμενα κεφάλαια γίνεται σε επίπεδο πολιτείας, μία κλίμακα η οποία είναι αρκετά μεγάλη. Ωστόσο, θεωρείται ικανή να φανερώσει τις ευρύτερες πρακτικές διαχείρισης φυσικών πόρων που ακολουθούνται στην πολιτεία και να εντοπίσει συγκεκριμένους τομείς που δέχονται ή πρόκειται να δεχτούν, υπό την επίδραση διάφορων διαταραχών, είτε περιβαλλοντικών είτε οικονομικών, μεγαλύτερη «πίεση» (περιβαλλοντική ή οικονομική) στο μέλλον.

### 1.5.1 Κριτήρια επιλογής της περιοχής μελέτης

Η συγκεκριμένη περιοχή μελέτης δεν επιλέχθηκε τυχαία. Αντίθετα, κρίθηκε κατάλληλη ύστερα από μια σειρά συλλογισμών και αρκετή αναζήτηση. Πρώτον, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το WEFN είναι πολυπαραγοντικό και κατ' επέκταση, οποιαδήποτε ανάλυση βασισμένη σε αυτό απαιτεί τη συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων από πολλούς φορείς, ιδιωτικούς και δημόσιους. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά χρονοβόρα και πολλές φορές, δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα. Αυτό εξηγεί γιατί επιλέχθηκε μία πολιτεία της Αμερικής, όπου η μέτρηση και καταγραφή των δεδομένων είναι συστηματική, αξιόπιστη, εκτεταμένη και υπάρχει ανοιχτή πρόσβαση σε αυτή. Το πιθανότερο είναι, ότι, αν επιχειρούνταν αντίστοιχη προσπάθεια εύρεσης δεδομένων σε άλλη περιοχή του κόσμου, συμπεριλαμβανομένου και του ελλαδικού χώρου, τα αποτελέσματά της θα ήταν τουλάχιστον ανεπαρκή. Καταλήγοντας, λόγω συνθηκών, λοιπόν, στην Αμερική, η επιλογή της συγκεκριμένης πολιτείας έγινε λαμβάνοντας υπόψη αρκετές παραμέτρους, οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Κατ' αρχάς, η Καλιφόρνια είναι η τρίτη μεγαλύτερη σε έκταση πολιτεία της Αμερικής (423970 km<sup>2</sup>), συμπεριλαμβανομένης και της Αλάσκας και η πρώτη μεγαλύτερη σε πληθυσμό, με μεγάλη διαφορά από τη δεύτερη. Ο τρέχων πληθυσμός της υπολογίζεται στα 40,2 εκατομμύρια, ενώ στην τελευταία επίσημη καταγραφή, το 2010, ήταν 37253956 (World Population Review). Ο πληθυσμός της είναι, επίσης, ιδιαίτερα ποικιλόμορφος, με κατοίκους πολλών διαφορετικών εθνικοτήτων. Αφενός η έκταση μιας περιοχής επηρεάζει πάρα πολύ την οργάνωση και τη διαχείριση των φυσικών της πόρων, αφετέρου ο πληθυσμός και οι εθνικότητες της διαμορφώνουν τη ζήτηση και τις καταναλωτικές της συνήθειες. Αυτό σημαίνει, ότι, λόγω του πολύ μεγάλου πληθυσμού της, μεγάλο κομμάτι του οποίου είναι συγκεντρωμένο σε τεράστια αστικά κέντρα, οι ανάγκες της σε ενέργεια, νερό και τροφή είναι εξίσου μεγάλες.

Πρέπει, επιπλέον, να σημειωθεί, ότι, σύμφωνα με νέα, ομοσπονδιακά, οικονομικά δεδομένα, τα οποία δημοσιεύθηκαν περίπου στα μέσα του 2018, η Καλιφόρνια αναδείχθηκε ως η πέμπτη μεγαλύτερη οικονομία στον κόσμο, ξεπερνώντας χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία και η Ινδία. Το Εθνικό Ακαθάριστο Προϊόν της (GDP) έφτασε την ίδια χρονιά τα 2935332 εκατομμύρια δολάρια (Howells & Morgan, 2018). Εκτός των παραπάνω, η Καλιφόρνια διαθέτει την πιο προσοδοφόρα γεωργία συγκριτικά με κάθε άλλη πολιτεία, με έσοδα παραπάνω από 50 δισεκατομμύρια δολάρια για το 2017 (CDFA, 2018b). Οι παραπάνω αποδοχές της είναι σχεδόν διπλάσιες από αυτές της αμέσως επόμενης πολιτείας σε γεωργικά έσοδα (Αϊόβα). Ωστόσο, παρά τη συντριπτική υπεροχή της γεωργικής της οικονομία συγκριτικά με τις υπόλοιπες, ως οικονομικός κλάδος δε συνεισφέρει σε μεγάλο ποσοστό στο συνολικό Εθνικό Ακαθάριστο Προϊόν της πολιτείας.

Τέλος, καθοριστικό ρόλο για την επιλογή της συγκεκριμένης πολιτείας έπαιξε η λειψυδρία που επικρατεί στο μεγαλύτερο τμήμα της, πράγμα που κάνει ακόμη πιο εντυπωσιακό το γεγονός ότι καταφέρνει να είναι η απόλυτη οικονομική κυρίαρχος των ΗΠΑ, να επιτελεί με μεγάλη επιτυχία τις λειτουργίες της και να διαπρέπει στον τομέα της γεωργίας.

Άλλες υποψήφιες πολιτείες ήταν η Αϊόβα, λόγω της μεγάλης γεωργικής της παραγωγής και η Χονολουλού, η πρωτεύουσα της Χαβάης, επειδή η ανάλυση ενός WEFN σε ένα σύστημα με διακριτά όρια, όπως είναι ένα νησί, είναι, ενδεχομένως, ευκολότερη. Παρ' όλ' αυτά, η Καλιφόρνια επιλέχθηκε, τελικά, ως η περιοχή μελέτης που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

## 2 Περιγραφή της περιοχής μελέτης – Ανάλυση δεδομένων

Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται η παρουσίαση της περιοχής μελέτης όσο το δυνατόν πληρέστερα. Αρχικά, δίνονται ορισμένα δεδομένα για τη γεωγραφία, τις χρήσεις γης και το κλίμα της, τα οποία αποτελούν σημαντικές παραμέτρους στην ανάλυση ενός WEFN. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται εκτενώς το υδραυλικό της δίκτυο και ο τρόπος με τον οποίο διαχειρίζεται τους υδατικούς της πόρους. Κατόπιν, αναλύεται η παραγωγή της ενέργειας στην πολιτεία και η χρήση της από διάφορους τομείς της κοινωνίας και τέλος, γίνεται αναφορά στο αγροτικό της σύστημα και τις κυρίαρχες καλλιέργειές της.

### 2.1 Η γεωγραφία και οι χρήσεις γης

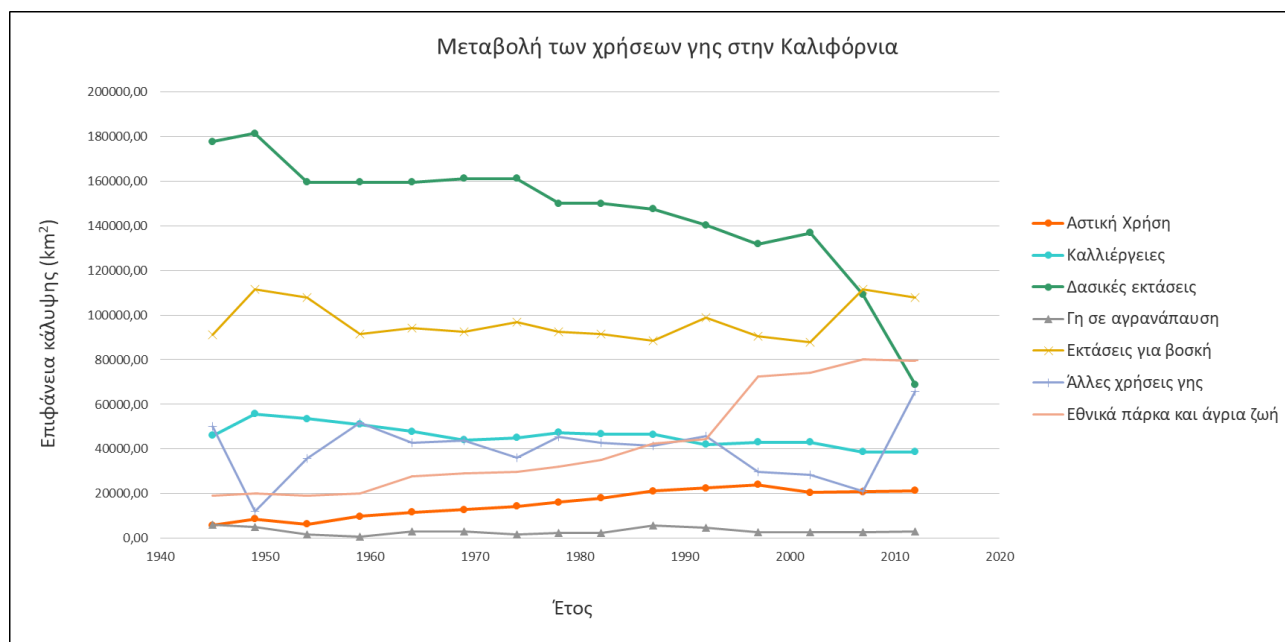
Όπως ακριβώς ποικίλουν οι εθνικότητες και οι κουλτούρες που υπάρχουν στην Καλιφόρνια, αντιθέσεις και ποικιλομορφία χαρακτηρίζουν και τη γεωγραφία της. Στα δυτικά βρέχεται από τον Ειρηνικό Ωκεανό σε μια τεράστια ακτογραμμή, στα νότια επικρατεί η έρημος και στο κέντρο και ανατολικά η χιονισμένη Σιέρα Νεβάδα (Sierra Nevada), η οποία διασχίζει μεγάλο κομμάτι της πολιτείας. Η Κεντρική Κοιλάδα της Καλιφόρνιας (Central Valley), η οποία εκτείνεται μέχρι τους πρόποδες της Σιέρα Νεβάδα, είναι μία από τις πιο παραγωγικές γεωργικές περιοχές της χώρας και του κόσμου. Στο Σχήμα 2-1 δίνεται ένας φυσικός χάρτης της πολιτείας, όπου διακρίνονται η πεδιάδα και η οροσειρά που προαναφέρθηκαν, ενώ με τις άσπρες γραμμές διαχωρίζονται οι 58 κομητείες της.



Σχήμα 2-1. Φυσικός χάρτης της Καλιφόρνιας. Πηγή: Geology

Στο Σχήμα 2-2 παρουσιάζεται η εξέλιξη των βασικών χρήσεων γης της Καλιφόρνιας για το διάστημα 1945-2012, όπως υπολογίστηκε με χρήση δεδομένων της Υπηρεσίας Γεωλογικών Ερευνών της Αμερικής (U.S. Geological Survey) (USDA-Economic Research Service, 2018). Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, λοιπόν, οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις έχουν δεχθεί μείωση (της τάξεως του 15%) μέσα σε αυτό το διάστημα, με μία αύξηση γύρω στο 1950 η οποία δεν κράτησε για πολύ. Η αστική χρήση της γης έχει τετραπλασιαστεί, ενώ οι δασικές εκτάσεις έχουν διαγράψει δραματικά καθοδική πορεία, αποτελώντας σήμερα το 38% των δασικών εκτάσεων του 1945. Συμπεραίνουμε, επίσης, ότι

μεγάλο τμήμα των κάποτε παρθένων δασικών εκτάσεων σήμερα έχει μετατραπεί σε Εθνικά Πάρκα και Πάρκα Προστασίας της Άγριας Ζωής. Τέλος, οι εκτάσεις για βοσκή το 2012 αποτελούσαν την πιο εκτεταμένη χρήση γης της πολιτείας, καλύπτοντας περισσότερα από 100000 km<sup>2</sup>.



Σχήμα 2-2. Η μεταβολή των βασικών χρήσεων γης της Καλιφόρνιας για το διάστημα 1945-2012.

## 2.2 Το κλίμα

Το κλίμα της Καλιφόρνιας διαφέρει πολύ ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο και την απόσταση από τη θάλασσα. Ωστόσο, στις παράκτιες περιοχές, στην Κεντρική Κοιλάδα και στους πρόποδες της Σιέρα Νεβάδα το κλίμα είναι μεσογειακό, με δροσερούς, υγρούς χειμώνες και ζεστά, ξηρά καλοκαίρια. Η εγγύτητα με τον ωκεανό μετριάξει, γενικώς, τις ακραίες θερμοκρασίες, δημιουργώντας ζεστότερους χειμώνες και αρκετά δροσερότερα καλοκαίρια στις παράκτιες περιοχές. Το συγκεκριμένο είδος κλίματος ευνοεί την ανάπτυξη της γεωργίας, γεγονός που επιβεβαιώνεται από την περίπτωση της Καλιφόρνιας. Τα επίπεδα της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας μιας περιοχής αποτελούν σημαντικά χαρακτηριστικά του κλίματος κάθε περιοχής. Έτσι, στη συνέχεια, παρατίθενται, συνοπτικά, κάποιες λεπτομέρειες για τα δύο αυτά φυσικά φαινόμενα στην Καλιφόρνια και για το πώς έχουν εξελιχθεί ιστορικά.

### 2.2.1 Βροχόπτωση

Πληροφορίες και δεδομένα σχετικά με τη βροχόπτωση που πραγματοποιείται στην Καλιφόρνια συλλέχθηκαν από το National Centers for Environmental Information (NCEI) του οργανισμού National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), ο οποίος υπάγεται στο Υπουργείο Εμπορίου των Ηνωμένων Πολιτειών (United States Department of Commerce).

Οι πληροφορίες σε επίπεδο πολιτείας που παρέχει το NCEI προέρχονται από τη βάση δεδομένων U.S. Divisional Database, η οποία περιέχει δεδομένα από τον Ιανουάριο του 1895 έως και σήμερα. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη βάση, οι 48 γειτονικές πολιτείες της Ηπείρου της Βόρειας Αμερικής (contiguous U.S. ή CONUS), εξαιρουμένων, δηλαδή, της Αλάσκας και της Χαβάης, χωρίζονται σε 344 κλιματικά τμήματα. Για κάθε κλιματικό τμήμα υπολογίζονται για κάθε σταθμό του μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, με βάση ημερήσιες παρατηρήσεις. Από τις τιμές που υπολογίζονται

για το κάθε κλιματικό τμήμα μιας πολιτείας και χρησιμοποιώντας έναν συντελεστή βαρύτητας ανάλογα με την έκταση του κάθε τμήματος, προκύπτουν οι τελικές, αθροιστικές τιμές για την κάθε πολιτεία.

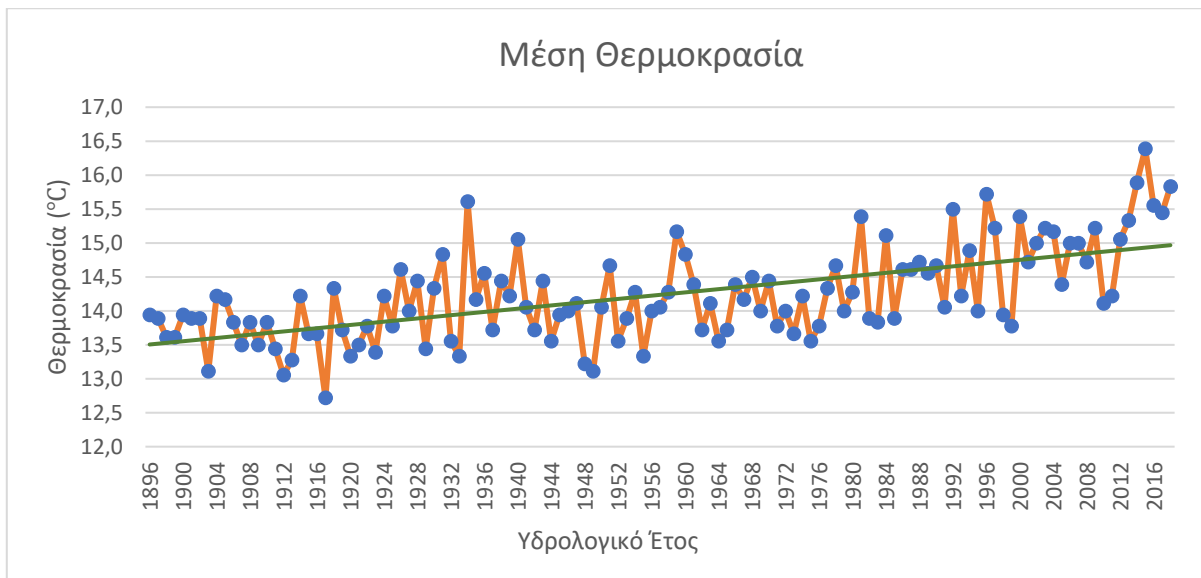
Στο Σχήμα 2-3 παρουσιάζεται η ιστορική μεταβολή της ετήσιας βροχόπτωσης της Καλιφόρνιας από το 1895 έως το 2018. Πρέπει να σημειωθεί, ότι η βάση της συγκεκριμένης χρονοσειράς (άξονας χ) δεν είναι το ημερολογιακό έτος αλλά το υδρολογικό έτος, το οποίο ξεκινάει κάθε Οκτώβριο και τελειώνει τον επόμενο Σεπτέμβριο. Το ιστορικό μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης υπολογίστηκε ως 562mm, ενώ παρατηρείται μια μικρή πτωτική τάση.



Σχήμα 2-3. Ιστορική χρονοσειρά βροχόπτωσης της Καλιφόρνιας.

### 2.2.2 Θερμοκρασία

Πληροφορίες και δεδομένα σχετικά με τη θερμοκρασία της Καλιφόρνιας συλλέχθηκαν και πάλι από το National Centers for Environmental Information. Στο Σχήμα 2-4 παρουσιάζεται η ιστορική μεταβολή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας. Και σε αυτήν την περίπτωση το υδρολογικό έτος αποτελεί τη βάση της χρονοσειράς, έτσι ώστε να υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ των παρατηρήσεων θερμοκρασίας και βροχόπτωσης. Η ιστορική μέση τιμή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας της Καλιφόρνιας υπολογίστηκε ως 14,2°C.



Σχήμα 2-4. Ιστορική χρονοσειρά μέσης θερμοκρασίας της Καλιφόρνιας.

Ταυτόχρονα με τη μείωση της βροχόπτωσης, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στο τελευταίο σχήμα παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας. Ο συνδυασμός αυτών των δύο φαινομένων είναι ιδιαίτερα ανησυχητικός και τα αποτελέσματά του μπορεί να αποβούν καταστρεπτικά για περιοχές που διαθέτουν μεσογειακό κλίμα και βιώνουν μεγάλα σε διάρκεια και πολύ ζεστά καλοκαίρια, όπως η Καλιφόρνια. Αυτό, άλλωστε, απέδειξε και η ξηρασία-ρεκόρ που βίωσε η πολιτεία, η οποία διήρκεσε από το 2012 έως το 2016 και συνοδεύτηκε από πρωτοφανώς υψηλές θερμοκρασίες.

## 2.3 Το νερό

### 2.3.1 Επιφανειακό νερό

Η επάρκεια ή η έλλειψη νερού στην Καλιφόρνια διαμόρφωσε ανέκαθεν και συνεχίζει να διαμορφώνει τόσο την οικονομική όσο και την πολιτιστική της εικόνα. Η οικονομία της λεγόμενης και Χρυσής Πολιτείας, η γεωργική της παραγωγή και ο πληθυσμός της εξελίχθηκαν και κατέληξαν να κυριαρχούν έναντι όλων των υπόλοιπων παράλληλα με την ανάπτυξη και τη βελτίωση της διαχείρισης των υδατικών της πόρων (California Department of Water Resources-c). Το λιγιστό νερό της είναι ζωτικής σημασίας για τα αστικά της κέντρα, τη βιομηχανία της και τη διατήρηση του φυσικού της πλούτου και αυτή η εξάρτηση καθιστά με ηχηρό τρόπο εμφανείς τις αλληλοσυνδέσεις του με τους τομείς της ενέργειας και της τροφής.

Οι σημαντικότερες λεκάνες αποστράγγισης της Καλιφόρνιας, όπως τις έχει διαχωρίσει η αρμόδια Υπηρεσία Υδατικών Πόρων (Department of Water Resources ή DWR), είναι 10 και ονομάζονται Υδρολογικές Περιοχές (Hydrologic Regions) (DWR-Natural Resources Agency, 2015). Το Σχήμα 2-5 απεικονίζει τις περιοχές αυτές, οι οποίες χρησιμοποιούνται πολύ συχνά σε θέματα οργάνωσης και διαχείρισης υδατικών πόρων και παρεμφερών δραστηριοτήτων, όπως, για παράδειγμα, η γεωργία. Το ατυχές στην περίπτωση της Καλιφόρνιας είναι, ότι λαμβάνει 75% της βροχόπτωσης και χιονόπτωσης της στις λεκάνες απορροής βόρεια της κομητείας του Σακραμέντο· δηλαδή, οι Υδρολογικές Περιοχές North Coast, North Lahontan και το άνω τμήμα της υδρολογικής περιοχής του Sacramento River είναι οι πιο «πλούσιες» από άποψη κατακρημνίσεων. Παρ' όλ' αυτά, 80% της ζήτησης σε νερό προέρχεται από τα 2/3 της πολιτείας στα νότια, όπου βρίσκονται και οι υπόλοιπες εφτά με οχτώ Υδρολογικές Περιοχές.

Καθώς οι άνθρωποι άρχιζαν να συνωστίζονται στη νότια Καλιφόρνια με το ήπιο κλίμα και το γεωργικό πλούτο στα τέλη του 1800 και στις αρχές του 1900, έγινε γρήγορα σαφές, ότι οι υδατικοί πόροι της περιοχής, με τις μεγάλες διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητα από εποχή σε εποχή και από χρόνο σε χρόνο, δε θα μπορούσαν να υποστηρίξουν τον συνεχώς αυξανόμενο πληθυσμό της. Κατασκευάστηκαν πάρα πολλά υδραυλικά έργα, για να μπορέσουν να εισάγουν το πολύτιμο αγαθό στη νότια Καλιφόρνια και στην Κεντρική Κοιλάδα (California Department of Water Resources-b; Water Education Foundation-a).



Σχήμα 2-5. Οι δέκα Υδρολογικές Περιοχές της Καλιφόρνιας. Πηγή DWR-Natural Resources Agency (2015).



Πέραν, όμως, από τη χωρικά άνιση κατανομή προσφοράς και ζήτησης, όσον αφορά το φυσικό αγαθό του νερού, ένα άλλο καθοριστικό χαρακτηριστικό της Καλιφόρνιας είναι και η αβεβαιότητα της διαθεσιμότητάς του. Η μέση ετήσια βροχόπτωση ολόκληρης της Καλιφόρνιας και κατ' επέκταση, ο χαρακτηρισμός ενός υδρολογικού έτους ως υγρού ή ξηρού εξαρτάται από το αν θα πραγματοποιηθούν ή όχι αρκετές καταιγίδες την περίοδο του χειμώνα. Για παράδειγμα, ένα έτος τείνει να θεωρηθεί ξηρό, εάν μία ζώνη υψηλής πίεσης προερχόμενη από τον Ειρηνικό Ωκεανό παραμείνει πάνω από την πολιτεία για μεγάλο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια του χειμώνα, αποτρέποντας, με αυτόν τον τρόπο, τις καταιγίδες από το να πλησιάσουν την ενδοχώρα (California Department of Water Resources-a). Στα παραπάνω έρχεται να προστεθεί και η χρονικά άνιση κατανομή προσφοράς και ζήτησης, όπως προαναφέρθηκε. Κατά μέσο όρο, 75% της ετήσιας βροχόπτωσης της Καλιφόρνιας συμβαίνει μεταξύ Νοεμβρίου και Μαρτίου. Το 50% αυτής πραγματοποιείται μεταξύ Δεκεμβρίου και Φεβρουαρίου, περίοδος που συμπίπτει με τις μεγαλύτερες χειμερινές καταιγίδες/θύελλες που δέχεται η πολιτεία, για τις οποίες έγινε λόγος και παραπάνω (California Department of Water Resources-a).

Σήμερα, η πολιτεία της Καλιφόρνιας έχει ήδη κατασκευάσει το μεγαλύτερο υδραυλικό σύστημα στον κόσμο και συνεχίζει να το βελτιώνει και να το επεκτείνει. Δεν είναι τυχαίο που έχει χαρακτηριστεί ως το πιο υδρολογικά μετασχηματισμένο κομμάτι γης του πλανήτη (Austin, 2015b; Water Education Foundation-a). Τα τρία βασικότερα υποσυστήματα διαχείρισης επιφανειακού νερού του υδραυλικού δικτύου υποδομών της είναι το Central Valley Project (CVP), το State Water Project (SWP) και ο Colorado River Aqueduct (CRA) (California Department of Water Resources-c). Τα υποσυστήματα αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

- Central Valley Project (CVP)

Η κατασκευή του Central Valley Project ξεκίνησε τη δεκαετία του 1930, συγκεκριμένα το 1938, από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση, για να υποστηρίξει την ξηρή αλλά ιδιαίτερα γόνιμη Κεντρική Κοιλάδα και τη γεωργική της οικονομία. Σήμερα, προμηθεύει με αρδευτικό νερό 6 από τις 10 Υδρολογικές Περιοχές με έντονη γεωργική δραστηριότητα στην Καλιφόρνια (U.S. Bureau of Reclamation, 2019). Το έργο ανήκει στο U.S. Bureau of Reclamation και μέχρι και σήμερα μεταφέρει νερό από τη λίμνη Shasta στα βόρεια έως το Bakersfield στο νότιο τμήμα της Κοιλάδας San Joaquin.

Διασχίζοντας την κεντρική Καλιφόρνια, εκτείνεται σε απόσταση 645 km και αποτελεί ένα περίπλοκο δίκτυο, αποτελούμενο από φράγματα, ταμιευτήρες, κανάλια, υδροηλεκτρικούς σταθμούς και άλλες εγκαταστάσεις, το οποίο εξυπηρετεί πολλούς σκοπούς. Μέσα σε πέντε δεκαετίες από την ημέρα έναρξης της κατασκευής του επεκτάθηκε σε ένα σύστημα 20 φραγμάτων και ταμιευτήρων, τα οποία στο σύνολό τους μπορούν να αποθηκεύσουν  $14800 \text{ hm}^3$ , 8 υδροηλεκτρικών εργοστασίων, 2 σταθμών αντλησοταμίευσης και πολλών χιλιομέτρων από αγωγούς και κανάλια. Το έργο εκτός από αρδευτικό νερό προσφέρει και αντιπλημμυρική προστασία στην Κεντρική Κοιλάδα, όπως επίσης, παρέχει νερό για οικιακή και βιομηχανική χρήση στην περιοχή. Επιπλέον, τροφοδοτεί με νερό μεγάλα αστικά κέντρα στις ευρύτερες περιοχές Greater Sacramento και San Francisco Bay, καθώς επίσης, παράγει ηλεκτρική ενέργεια για αυτές και προσφέρει ιδανικά τοπία για δραστηριότητες αναψυχής. Επιπρόσθετα, προμηθεύει νερό με σκοπό την αποκατάσταση της άγριας ζωής, την προστασία των ψαριών και την ενίσχυση της ποιότητας των υδάτων των περιοχών αυτών (U.S. Bureau of Reclamation, 2017; Water Education Foundation-a).

Το έργο προμηθεύει με νερό 29 από τις 58 κομητείες της Καλιφόρνιας. Από το CVP μεταφέρονται κάθε χρόνο περίπου  $6170 \text{ hm}^3$  νερού σε φάρμες συνολικής έκτασης περίπου  $12140 \text{ km}^2$  στην Κεντρική Κοιλάδα,  $740 \text{ hm}^3$  νερού για δημοτικές και βιομηχανικές χρήσεις (αρκετό νερό για να προμηθεύσει 2,5 εκατομμύρια ανθρώπους σε ένα έτος) και  $987 \text{ hm}^3$  σε καταφύγια άγριας ζωής ή για διατήρηση της ποιότητας του νερού στο Δέλτα του Sacramento-San Joaquin (U.S. Bureau of Reclamation, 2017).

- State Water Project (SWP)

Το SWP κατασκευάστηκε κατά τη διάρκεια των δεκαετιών 1960 και 1970. Παρέχει νερό σε περισσότερα από 25 εκατομμύρια ανθρώπους και σε πάνω από 3035 km<sup>2</sup> καλλιεργήσιμης γης, κυρίως, στην Κουλάδα San Joaquin και αποτελεί έργο εξέχουσας σημασίας για την οικονομία της πολιτείας. Το DWR ανέλαβε το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διαχείρισή του. Το SWP σχεδιάστηκε για να μπορεί να μεταφέρει 5180 hm<sup>3</sup> νερού, ενώ σε μια μέση χρονιά η ποσότητα αυτή είναι 2960 hm<sup>3</sup> (California Department of Water Resources, 2011).

Οι τεχνητές υποδομές του SWP λειτουργούν σε αρμονία με τους φυσικούς μηχανισμούς που παρατηρούνται στις λεκάνες απορροής της Καλιφόρνιας. Το νερό που διαχειρίζεται το έργο προέρχεται από τη λεκάνη απορροής του ποταμού Feather και αποστραγγίζεται στη λίμνη Oroville. Το ομώνυμο φράγμα αποθηκεύει το νερό, ώστε να το διανείμει στη συνέχεια, παρέχοντας, παράλληλα, αντιπλημμυρική προστασία αλλά και κοινωνικά και οικονομικά οφέλη, εξαιτίας των ευκαιριών αναψυχής που προσφέρει το περιβάλλον που διαμορφώνει (California Department of Water Resources-b).

Μεταξύ άλλων, όπως παρουσιάζονται στο σύνδεσμο California Department of Water Resources-b, το DWR έχει κατασκευάσει και συντηρεί τις εξής υποδομές, οι οποίες ανήκουν στο SWP:

- 36 εγκαταστάσεις αποθήκευσης
- 26 φράγματα
- 1135 km καναλιών και αγωγών (2/3 του μήκους της Καλιφόρνιας)
- 21 αντλιοστάσια (μεταξύ αυτών και τη μεγαλύτερη ανύψωση νερού στον κόσμο-Edmonston Pumping Plant)
- 4 εργοστάσια αντλησοσταμείωσης
- 5 υδροηλεκτρικά εργοστάσια (το DWR αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους παραγωγούς ενέργειας στην Καλιφόρνια)
- αναχώματα που εκτείνονται σε απόσταση περίπου 2575 km
- 66 εγκαταστάσεις αντιπλημμυρικού σχεδιασμού και 3 κύρια συστήματα διόδευσης πλημμύρας

- Colorado River Aqueduct (CRA)

Ο αγωγός του Κολοράντο (Colorado Aqueduct) κατασκευάστηκε τη δεκαετία του 1930, για να μεταφέρει νερό από τον ποταμό Κολοράντο στη νότια Καλιφόρνια. Την κατασκευή και διαχείριση του έργου ανέλαβε και κατέχει μέχρι και σήμερα η Μητροπολιτική Υδατική Περιφέρεια της νότιας Καλιφόρνιας (Metropolitan Water District of Southern California). Η κατασκευή του διήρκεσε 8 χρόνια και απασχόλησε 35000 εργάτες, αποτελώντας τη μεγαλύτερη ευκαιρία απασχόλησης κατά την περίοδο της Μεγάλης Ύφεσης (Great Depression). Ολοκληρώθηκε το 1941 και εκείνη την εποχή αποτελούσε τη μεγαλύτερη τεχνητή μεταφορά νερού στον κόσμο. Ο αγωγός αυτός αποτελεί, αδιαμφισβήτητα, την κύρια πηγή πόσιμου νερού της περιοχής για περισσότερα από 70 χρόνια τώρα. Σχεδόν 16 εκατομμύρια άνθρωποι εξαρτώνται με τον έναν ή τον άλλον τρόπο από τον ποταμό, που κάποτε θεωρούνταν αδάμαστος και καθόλου προβλέψιμος (Colorado River Water Users Association; The Metropolitan Water District).

Η Καλιφόρνια είναι μία από τις επτά πολιτείες που βασίζονται στο νερό του ποταμού Κολοράντο ή παραπόταμών του. Για πολλά χρόνια χρησιμοποιούσε παραπάνω από το μερίδιό της των 5427 hm<sup>3</sup> το χρόνο από τα 9251 hm<sup>3</sup> που απορρέουν συνολικά από την κατώτερη λεκάνη απορροής του ποταμού, στηριζόμενη, κυρίως, σε περίσσεια που δε χρησιμοποιούσαν η Αριζόνα και η Νεβάδα. Στα τέλη της δεκαετίας του 1990, όμως, όταν οι δύο αυτές πολιτείες ξεκίνησαν να χρησιμοποιούν το πλήρες μερίδιο που τους αναλογεί, διάφορες ομοσπονδιακές αρχές μαζί με άλλες πολιτείες που

βρέχονται από τον Κολοράντο άρχισαν τις πιέσεις προς την πλευρά της Καλιφόρνιας, ώστε να αναπτύξει ένα ολοκληρωμένο πλάνο, με σκοπό να μειώσει την εξάρτησή της από τα νερά του ποταμού και να αρκείται στο νόμιμο μερίδιό της. Η Καλιφόρνια ανταποκρίθηκε, αναπτύσσοντας ένα προσχέδιο το οποίο ονόμασε California Colorado River Water Use Plan (The Metropolitan Water District).

Άλλα σημαντικά έργα της Καλιφόρνιας έχουν κατασκευαστεί από τα μεγάλα αστικά της κέντρα, τα οποία δε διαθέτουν μεγάλες ποσότητες υπόγειου νερού. Τα έργα αυτά παρουσιάζονται, συνοπτικά, παρακάτω:

- Los Angeles Aqueduct

Ο αγωγός του Λος Άντζελες (Los Angeles Aqueduct) αποτελεί το πρώτο σύστημα μεταφοράς νερού που κατασκευάστηκε στην πολιτεία, με στόχο να καλύψει τις ανάγκες ύδρευσης της μητρόπολης. Την περίοδο της ολοκλήρωσής του θεωρούνταν πολύ μεγάλο μηχανικό κατόρθωμα, με μόνη να το επισκιάζει τη διώρυγα του Παναμά. Αποτελεί την τρίτη πηγή εισαγωγής νερού στη νότια Καλιφόρνια, μαζί με το SWP και τον CRA, και η διαχείρισή του ανήκει στην πόλη του Λος Άντζελες και στο Υπουργείο Νερού και Ενέργειας (Department of Water and Power ή DWP). Ο συγκεκριμένος αγωγός είναι υπεύθυνος για την τροφοδότηση νερού αυστηρά μέσα στα όρια της πόλης (Austin, 2015d).

Ο πρώτος αγωγός, ο οποίος κατασκευάστηκε το 1913 και έχει μήκος 375 km, μεταφέρει, μέχρι και σήμερα, νερό μετά από εκτροπή του ποταμού Owens στα ανατολικά της Σιέρα Νεβάδα. Αρκετά σύντομα, όμως, μετά την κατασκευή του κατέστη σαφές, ότι η παροχή του δεν ήταν αρκετή. Το 1940 ολοκληρώθηκε η πρώτη επέκταση του αγωγού, η οποία δεσμεύει το νερό από τη λεκάνη απορροής Μοπο και προσέθεσε ακόμη 170 km περίπου στον ήδη υπάρχον αγωγό. Το 1970 ολοκληρώθηκε και ο δεύτερος αγωγός, εκτεινόμενος από την Κοιλιάδα Owens έως την Κοιλιάδα San Fernando. Η οριζοντιογραφία του δεύτερου αγωγού χαράχθηκε σχεδόν παράλληλα με αυτή του πρώτου, έτσι ώστε να αυξήσει, ουσιαστικά, τη χωρητικότητά του (Austin, 2015d).

- Hetch Hetchy Project

Εκτός από το Λος Άντζελες και άλλες πόλεις έχουν δημιουργήσει τα δικά τους εκτεταμένα υδραυλικά συστήματα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το Σαν Φρανσίσκο κατασκεύασε το έργο Hetch Hetchy, για να παρέχει, κατά μέσο όρο, 316 hm<sup>3</sup> νερού σε περίπου 2,6 εκατομμύρια ανθρώπους σε 29 πόλεις του κόλπου του Σαν Φρανσίσκο (San Francisco Bay Area). Η κατασκευή του έργου ξεκίνησε το 1914· εξαιτίας, όμως, οικονομικών καθυστερήσεων αλλά και δυσκολιών στη διάνοιξη των τούνελ στις περιοχές κοντά στην ακτή, το έργο μετέφερε νερό για πρώτη φορά το 1934 (Austin, 2015c).

Το συνολικό σύστημα παροχής νερού και ενέργειας του Hetch Hetchy περιλαμβάνει 450 km αγωγών, 97 km τούνελ, 11 ταμιευτήρες, 5 αντλιοστάσια και 2 εργοστάσια επεξεργασίας νερού. Το έργο μεταφέρει νερό από το φράγμα O'Shaughnessy, το οποίο διακόπτει τη φυσική ροή του ποταμού Tuolumne, ο οποίος βρίσκεται σε μία λεκάνη απορροής σε υψηλό υψόμετρο στην κεντρική Σιέρα Νεβάδα. Αυτό το φράγμα διαμορφώνει τον ταμιευτήρα Hetch Hetchy, ο οποίος είναι τμήμα του Εθνικού Πάρκου Yosemite (Yosemite National Park) και τροφοδοτείται από το λιώσιμο του χιονιού που συσσωρεύεται στην οροσειρά. Από εκεί, λοιπόν, το νερό ταξιδεύει για περίπου 258 km με τη βοήθεια της βαρύτητας, μέσω αγωγών, τούνελ, υδροηλεκτρικών σταθμών και 8 άλλων ταμιευτήρων στην περιοχή του Κόλπου, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Κοντά στην πόλη Fremont, η παροχή του νερού χωρίζεται σε 4 αγωγούς. Δύο από αυτούς κατευθύνονται προς τις νότιες περιοχές του Κόλπου και δύο προς τις βόρειες. Το συγκεκριμένο νερό είναι από τα καθαρότερα σε ολόκληρη την Αμερική που μεταφέρονται από κάποια δημοτική αρχή και το Σαν Φρανσίσκο είναι μία από τις 6 πόλεις της χώρας στις οποίες δεν επιβάλλεται από το νόμο το φιλτράρισμα του νερού της βρύσης. Ωστόσο, το συγκεκριμένο νερό επιδέχεται επεξεργασία (Austin, 2015c).

- Mokelumne Aqueduct

Ο ποταμός Mokelumne έχει μήκος 153 km και ρέει από τα δυτικά της Κορυφής Highland (Highland Peak) στην κεντρική Σιέρα Νεβάδα προς την Κεντρική Κοιλάδα, ώσπου, τελικά, εκβάλλει στο Δέλτα του Sacramento-San Joaquin. Ο ποταμός χωρίζεται σε ένα ανώτερο και ένα κατώτερο τμήμα. Το πρώτο εκτείνεται από τις πηγές του μέχρι το φράγμα και τον ταμιευτήρα Pardee (Pardee Dam and Reservoir), ενώ το δεύτερο απαντάται στο τμήμα κάτω από τον ταμιευτήρα Comanche (Comanche Reservoir). Το μεγαλύτερο κομμάτι του άνω ποταμού δεν έχει αλλοιωθεί από τον ανθρώπινο παράγοντα, ενώ γίνεται εκμετάλλευση του κάτω ποταμού, κυρίως, για άρδευση (Austin, 2015e).

Ο ταμιευτήρας Pardee, ο οποίος βρίσκεται περίπου 61 km βορειοανατολικά του Stockton, αποτελεί το σημείο εισόδου του νερού στον αγωγό Mokelumne. Όπως και στην περίπτωση του αγωγού Hetch Hetchy, έτσι και ο συγκεκριμένος εκτρέπει το νερό από το ποτάμι πριν από το Δέλτα. Η ιδιοκτησία και η διαχείριση του αγωγού Mokelumne ανήκουν στην Δημοτική Αρχή της Ανατολικής Ακτής του Κόλπου (East Bay Municipal Utility District ή EBMUD) (Austin, 2015e).

Το νερό εισέρχεται στο σύστημα μέσω ενός τούνελ 3,5 km, στη συνέχεια, χωρίζεται σε ένα σύστημα τριών παράλληλων αγωγών (Mokelumne Aqueduct) 132 km, το οποίο διασχίζει τους πρόποδες της Σιέρα Νεβάδα και την Κεντρική Κοιλάδα και στο Lodi ενώνεται με το νότιο κανάλι του Folsom (Folsom South Canal). Από το σημείο αυτό και μετά, συνεχίζει κατά μήκος του Δέλτα μέχρι το ρυάκι Walnut (Walnut Creek), όπου το νερό κατευθύνεται είτε σε ένα από τα τρία εργοστάσια επεξεργασίας της EBMUD είτε σε κάποιον από τους ταμιευτήρες. Χρειάζονται περίπου 30 με 45 ώρες για να φτάσει το νερό από τον ταμιευτήρα Pardee στην Ανατολική Ακτή (Austin, 2015e).

- All-American Canal

Πέρα, όμως, από τις δύο μεγάλες μητροπολιτικές περιοχές της Καλιφόρνιας, μεγάλα συστήματα διαχείρισης νερού έχουν κατασκευαστεί και για χάρη της υποστήριξης της γεωργικής παραγωγής, όπως έχουμε ήδη δει και στην περίπτωση της Κεντρικής Κοιλάδας. Στην Κοιλάδα Imperial της Καλιφόρνιας το νερό μεταφέρεται από τον ποταμό Κολοράντο μέσω του 129 km Παναμερικανικού Καναλιού (All-American Canal), το οποίο ξεκινάει από το φράγμα Imperial κοντά στην κομητεία Yuma της Αριζόνας, διασχίζει στα ανατολικά την έρημο και περνάει οριακά έξω από την πόλη Calexico, παράλληλα με το μεξικανικό σύνορο για το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής. Το φράγμα και το κανάλι που προαναφέρθηκαν βρίσκονται υπό τη διαχείριση της Αρδευτικής Περιφέρειας της κομητείας Imperial (Imperial Irrigation District ή IID), η οποία είναι μία από τις μεγαλύτερες ολόκληρης της Αμερικής. Διαθέτει κανάλια που εκτείνονται για περισσότερα από 4828 km και μεταφέρει σχεδόν 3824 hm<sup>3</sup> νερού στην καλλιεργήσιμη έκταση των περίπου 2024 km<sup>2</sup> της Κοιλάδας Imperial. Επιπλέον, το σύστημα διανομής της συγκεκριμένης περιφέρειας περιλαμβάνει 10 ταμιευτήρες με δυνατότητα συνολικής αποθηκευτικότητας μεγαλύτερης από 4 hm<sup>3</sup> νερού (Austin, 2015a).

Ολοκληρώνοντας την αναφορά στο υδραυλικό δίκτυο της Καλιφόρνιας, το Σχήμα 2-6, που ακολουθεί, απεικονίζει όλα τα προαναφερθέντα μεγάλα έργα του, καθώς και άλλα, όπως ταμιευτήρες και μικρότερα κανάλια.

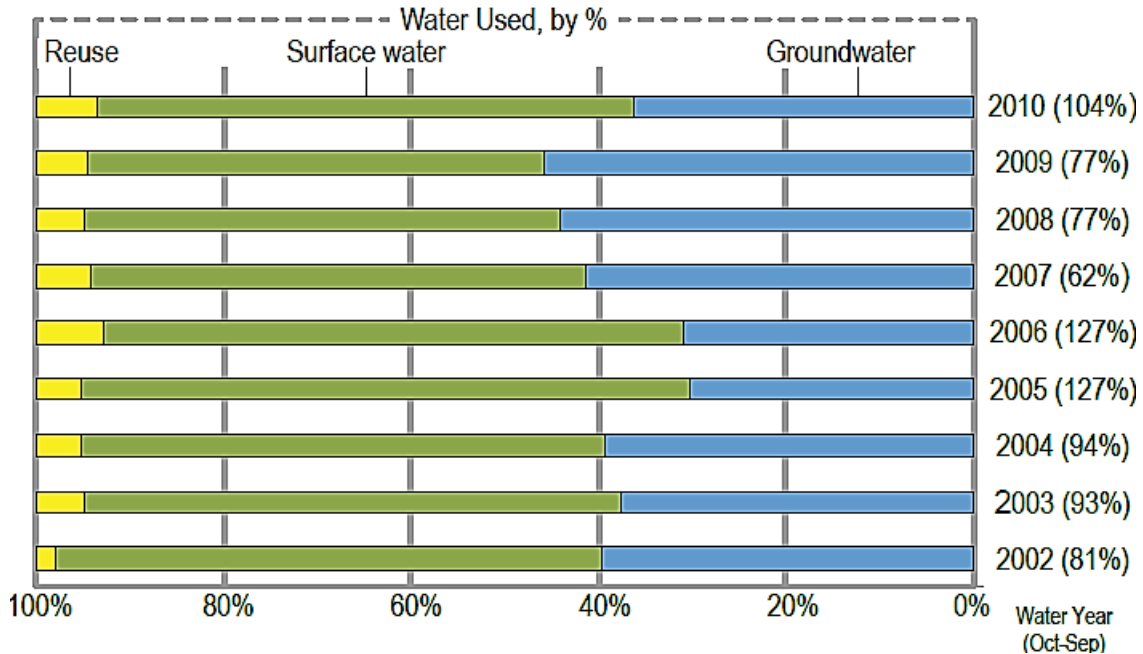


Σχήμα 2-6. Το υδραυλικό δίκτυο της Καλιφόρνιας. Πηγή: DWR-Natural Resources Agency (2015).

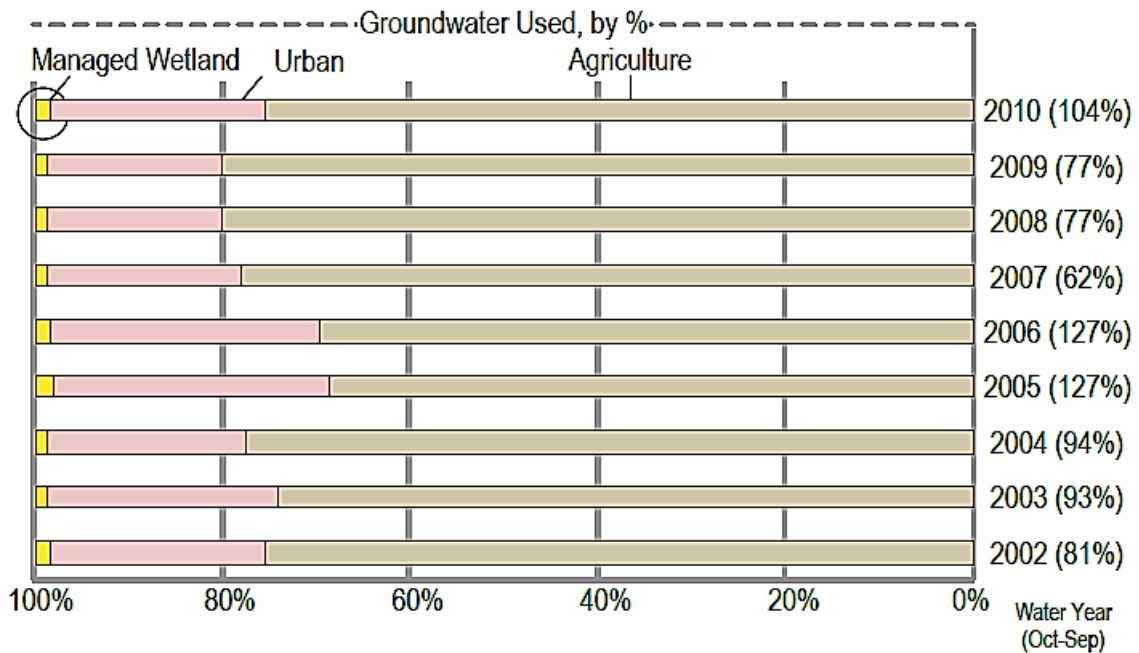
### 2.3.2 Υπόγειο νερό

Όλα τα προαναφερθέντα έργα αφορούν στη διαχείριση του επιφανειακού νερού. Φυσικά, η Καλιφόρνια δε βασίζεται μόνο στο διαθέσιμο επιφανειακό νερό για την κάλυψη των αναγκών της, γιατί αυτό δεν είναι αρκετό. Το υπόγειο νερό της είναι 10 φορές περισσότερο από όλο το επιφανειακό νερό που συναντάται στα ποτάμια, τις λίμνες και τους ταμιευτήρες της και αποτελεί το 40% του χρησιμοποιούμενου νερού στην πολιτεία σε ένα μέσο υδρολογικό έτος, ποσοστό το οποίο φτάνει το 60% τις ξηρές χρονιές (Water Education Foundation-a) (Σχήμα 2-7). Από αυτή και μόνο την αύξηση του ποσοστού άντλησης υπόγειου νερού σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, διαφαίνεται η λειτουργία

του ως ρυθμιστικού και ισορροπιστικού παράγοντα στην περιοχή. Ειδικά για το γεωργικό τομέα, ο οποίος είναι μακράν ο μεγαλύτερος χρήστης υπόγειου νερού στην πολιτεία (Σχήμα 2-8), αποτελεί δικλείδα ασφαλείας. Αυτό αποδείχθηκε και στην τελευταία ξηρασία που βίωσε η Καλιφόρνια. Η ξηρασία αυτή επέφερε 30% μείωση του διαθέσιμου επιφανειακού νερού για τη γεωργία και τα 2/3 αυτής της ποσότητας αντικαταστάθηκαν από αντλήσεις υπόγειου νερού (Lund et al., 2018).

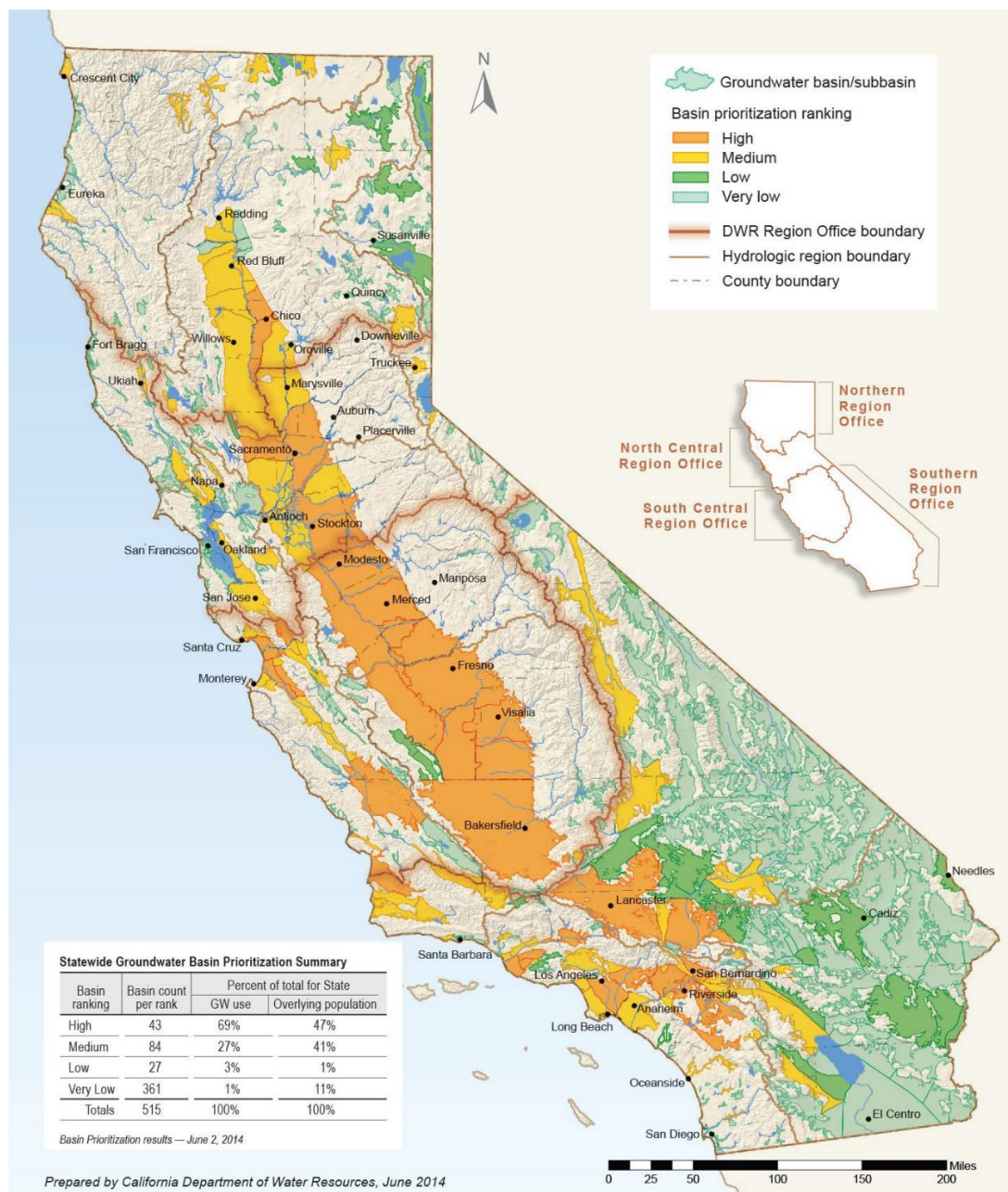


Σχήμα 2-7. Ποσοστά απολήψεων υπόγειου, επιφανειακού και ανακυκλωμένου νερού στην Καλιφόρνια για τα υδρολογικά έτη 2002-2010. Πηγή: DWR-Natural Resources Agency (2013).



Σχήμα 2-8. Ποσοστά απολήψεων υπόγειου νερού από τη γεωργία, τις πόλεις και για περιβαλλοντικές χρήσεις στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2002-2010. Πηγή: DWR-Natural Resources Agency (2013).

Ωστόσο, η χρήση του υπόγειου νερού καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητά του, η οποία παρουσιάζει, όπως και στην περίπτωση του επιφανειακού νερού, πολύ έντονες διακυμάνσεις ανά τοποθεσία. Ορισμένες περιοχές μπορεί να βασίζονται μόνο στο υπόγειο νερό, άλλες μόνο στο επιφανειακό και πολλές κάνουν χρήση και των δύο (Austin, 2015b; Water Education Foundation-a). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προγράμματος California Statewide Groundwater Elevation and Monitoring (CASGEM), 127 από τις 515 υπόγειες λεκάνες της πολιτείας προμηθεύουν το 96% του μέσου ετήσιου υπόγειου νερού που χρησιμοποιείται και 88% του πληθυσμού της Καλιφόρνιας είναι εγκατεστημένο πάνω από αυτές (DWR-Natural Resources Agency, 2015). Από το ίδιο πρόγραμμα έχει διαμορφωθεί μια κατάταξη προτεραιότητας των υπόγειων αυτών λεκανών, η οποία διακρίνεται στο Σχήμα 2-9, που ακολουθεί.

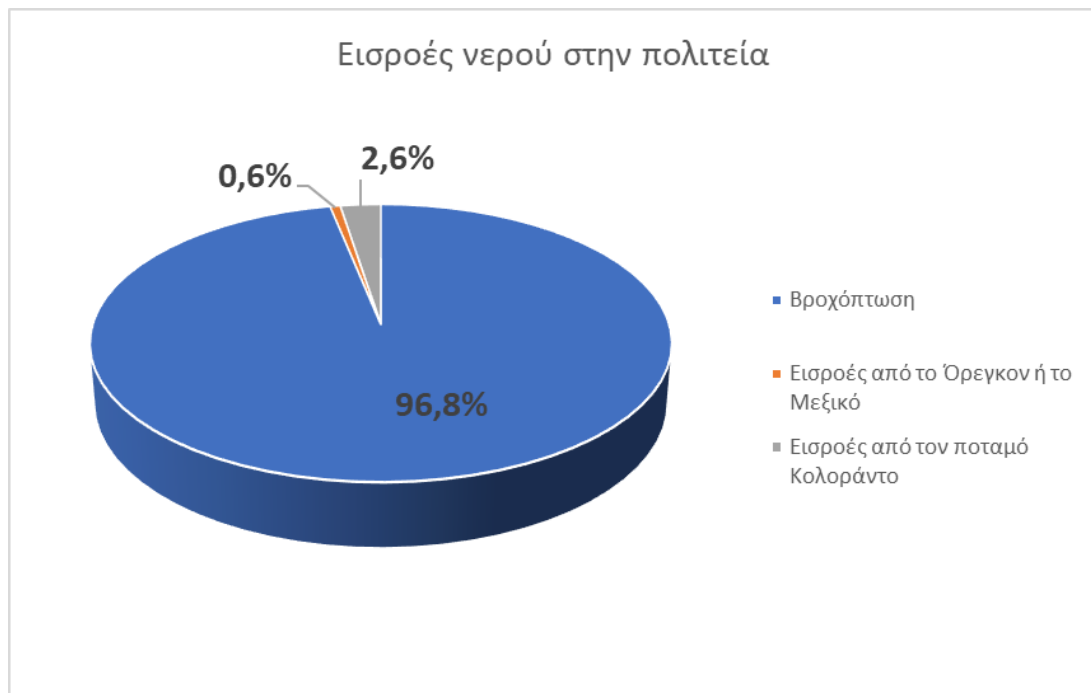


Σχήμα 2-9. Χρωματικός διαχωρισμός προτεραιότητας των αλλουβιακών, υπόγειων λεκανών της Καλιφόρνιας. Πηγή: DWR-Natural Resources Agency (2015).

### 2.3.3 Υδατικό Ισοζύγιο (Water Balance)

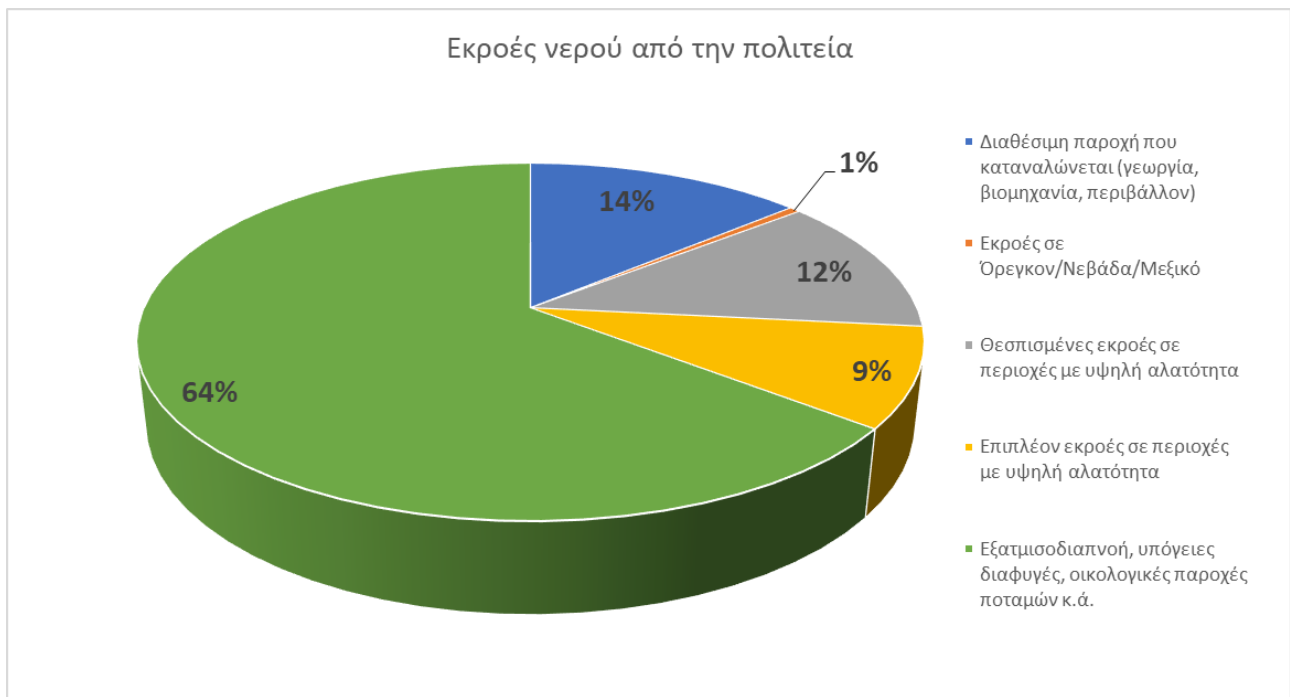
Όταν διεξάγεται μία μελέτη WEFN, όπου το νερό αποτελεί βασικό στοιχείο αυτής, είναι απαραίτητη η διερεύνηση του Υδατικού Ισοζυγίου (Water Balance) της περιοχής μελέτης. Παραπάνω έγινε αναφορά στις κυριότερες υποδομές και υδραυλικά έργα με τα οποία η Καλιφόρνια έχει καταφέρει να δαμάσει τους υδατικούς της πόρους αλλά και να εισάγει τους απαραίτητους, όταν και όπου αυτό χρειάζεται. Το Υδατικό Ισοζύγιο, ωστόσο, προσφέρει καλύτερη κατανόηση των πραγματικών ποσοτήτων νερού που ρέουν εντός της πολιτείας ή εισάγονται-εξάγονται από αυτή. Κατ' αρχάς, ο όρος Υδατικό Ισοζύγιο περιγράφει τον τρόπο και την ποσότητα εισροής νερού εντός των γεωγραφικών ορίων του συστήματος-περιοχής μελέτης και παρέχει, αντίστοιχα, τις ίδιες πληροφορίες για το νερό που εξέρχεται από τα ίδια γεωγραφικά όρια.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το Υδατικό Ισοζύγιο σε επίπεδο πολιτείας για την Καλιφόρνια, με δεδομένα του DWR-Natural Resources Agency (2013), το οποίο προετοιμάζεται και εκδίδεται από το DWR, συνήθως, κάθε τέσσερα χρόνια. Στο Σχήμα 2-10 παρουσιάζονται τα ποσοστά των εισροών νερού στη πολιτεία ανάλογα με την προέλευση, ενώ στο Σχήμα 2-11 φαίνονται οι εκροές από αυτή και το πού καταλήγουν, επίσης σε μορφή ποσοστών, ως μέσο όροι για τα υδρολογικά έτη 2001-2010.



Σχήμα 2-10. Ποσοστιαίες εισροές νερού στην Καλιφόρνια ανάλογα με την προέλευση και κατά μέσο όρο για τα υδρολογικά έτη 2001-2010.

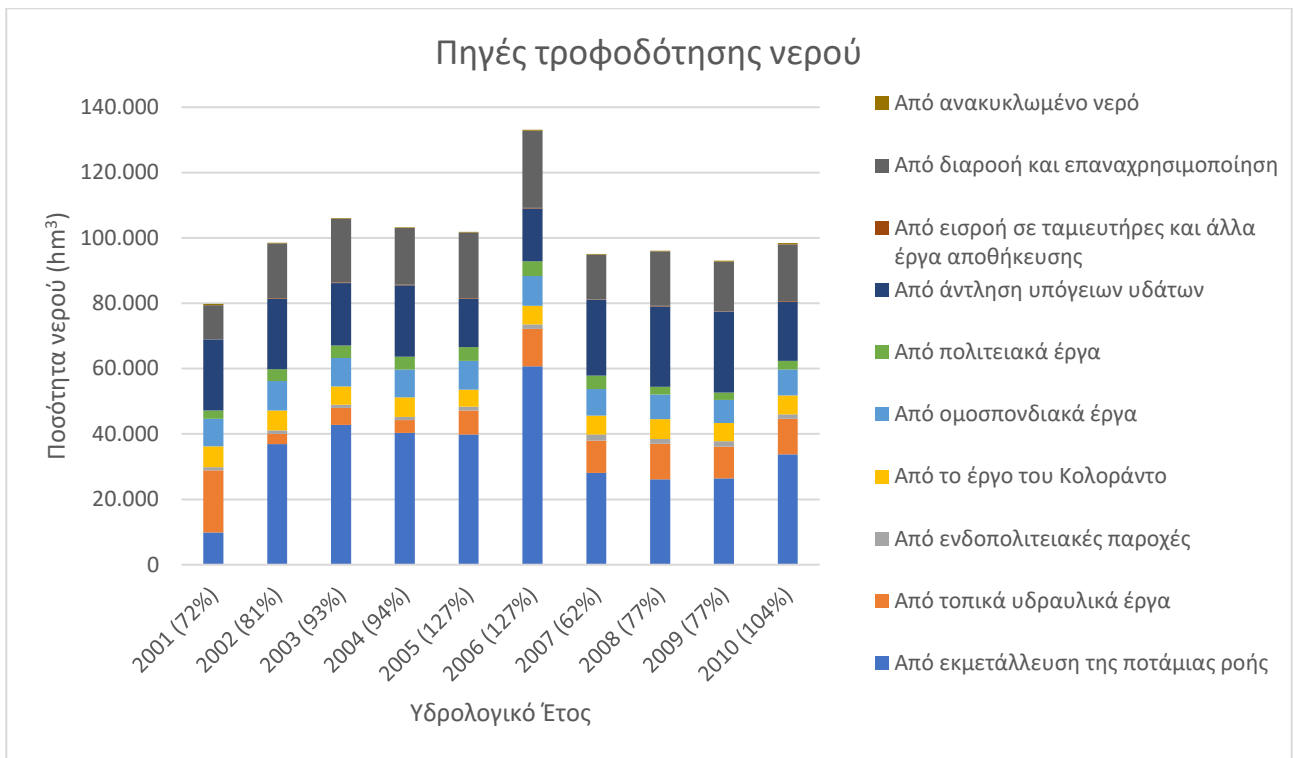




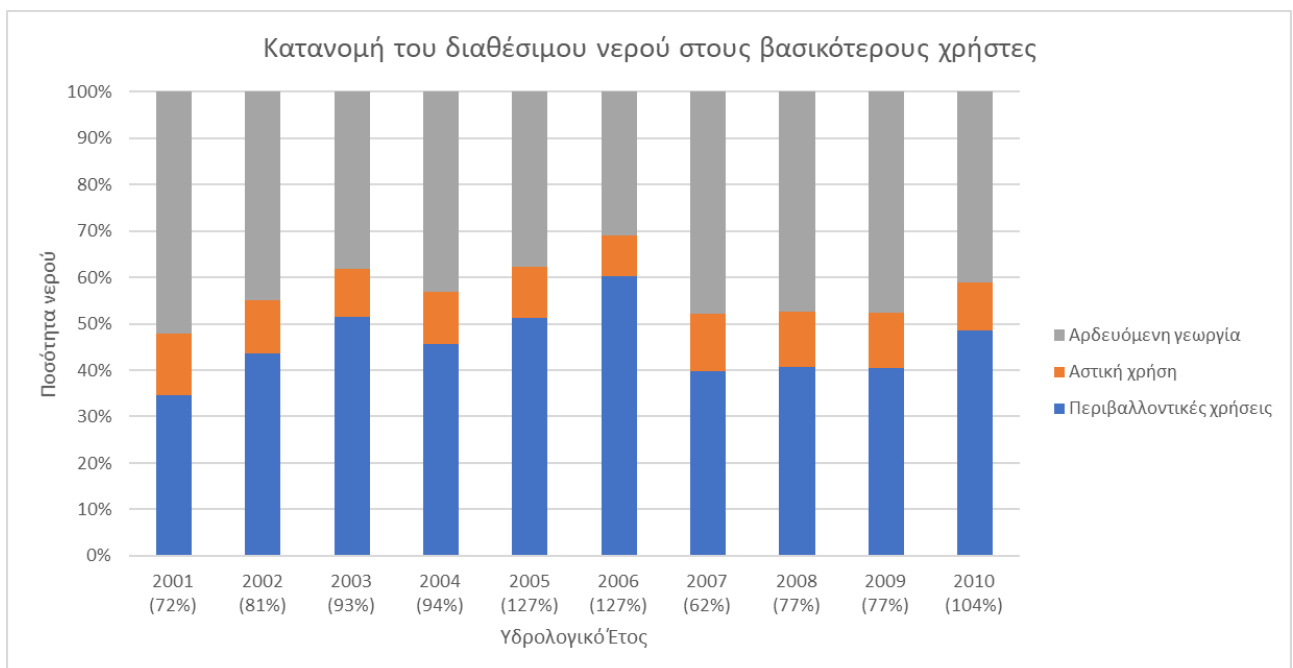
Σχήμα 2-11. Ποσοστιαίες εκροές νερού από τη διαθέσιμη παροχή της Καλιφόρνιας κατά μέσο όρο για τα υδρολογικά έτη 2001-2010.

Τα δεδομένα των Σχημάτων 2-10 και 2-11, ωστόσο, είναι ικανά να σκιαγραφήσουν μόνο τη μεγάλη εικόνα του Υδατικού Ισοζυγίου και όχι τις ροές του νερού στο εσωτερικό της πολιτείας. Γι' αυτό το λόγο, παρατίθενται τα Σχήματα 2-12 έως 2-17 τα οποία έχουν προκύψει από τα δεδομένα του DWR-Natural Resources Agency (2013) για τα υδρολογικά έτη 2001-2010. Οι τιμές στις παρενθέσεις δίπλα από κάθε υδρολογικό έτος αντιπροσωπεύουν τα ποσοστά βροχόπτωσης του εκάστοτε έτους ως προς την «κανονική βροχόπτωση». Ως «κανονική» ορίζεται η μέση τιμή της ετήσιας βροχόπτωσης από το 1981 έως το 2010 (594mm).

Το Σχήμα 2-12 απεικονίζει τις ποσότητες νερού ανάλογα με την πηγή τροφοδότησης, οι οποίες αθροιστικά αποτελούν τη συνολική, διαθέσιμη παροχή της Καλιφόρνιας, ενώ το Σχήμα 2-13 αποτυπώνει την ποσοστιαία κατανομή της παροχής αυτής στους διάφορους χρήστες της κοινωνίας. Από το πρώτο σχήμα προκύπτει ότι η διαθέσιμη παροχή στην Καλιφόρνια για τα έτη 2001 έως 2010 κυμάνθηκε από 80 μέχρι περίπου 130 δισεκατομμύρια  $m^3$ , με μία μέση τιμή γύρω στα 90 δισεκατομμύρια  $m^3$ . Παρατηρούμε, επίσης, ότι μεγάλο ρόλο στη διακύμανση αυτή έπαιξε το ποσοστό βροχόπτωσης που δέχτηκε η πολιτεία κάθε χρονιά ή η ακολουθία διαδοχικών υγρών ή ξηρών ετών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το υδρολογικό έτος 2006, στο οποίο η διαθέσιμη παροχή ήταν η μεγαλύτερη σε όλη τη δεκαετία, γεγονός που συνέπεσε με το υψηλότερο ποσοστό βροχόπτωσης για δεύτερη συνεχόμενη χρονιά. Το δεύτερο σχήμα προσφέρει την πληροφορία, ότι το περισσότερο νερό στην πολιτεία (46% της συνολικής παροχής) κατευθύνεται προς περιβαλλοντικές χρήσεις. Ως δεύτερος πιο απαιτητικός χρήστης ακολουθεί η γεωργία, δεσμεύοντας 43% του συνολικού νερού, ενώ για αστική χρήση αφιερώνεται 11% αυτού. Τα παραπάνω ποσοστά αποτελούν μέσες τιμές της δεκαετίας 2001-2010.

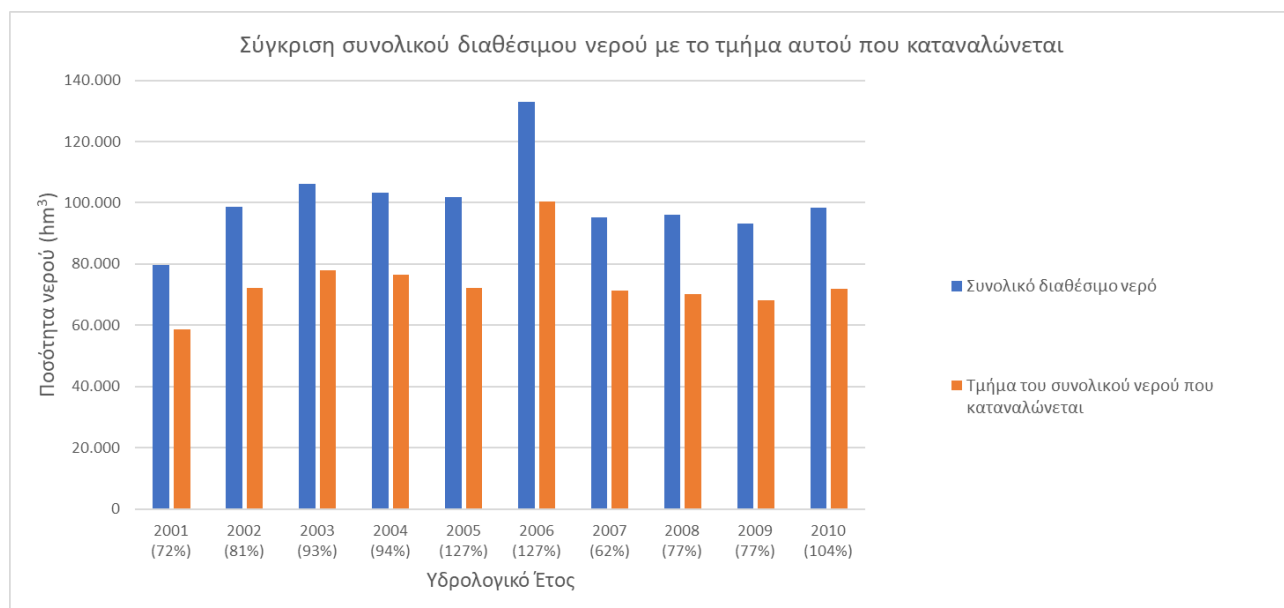


Σχήμα 2-12. Ποσότητες νερού και πηγές τροφοδότησης για την Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2010.



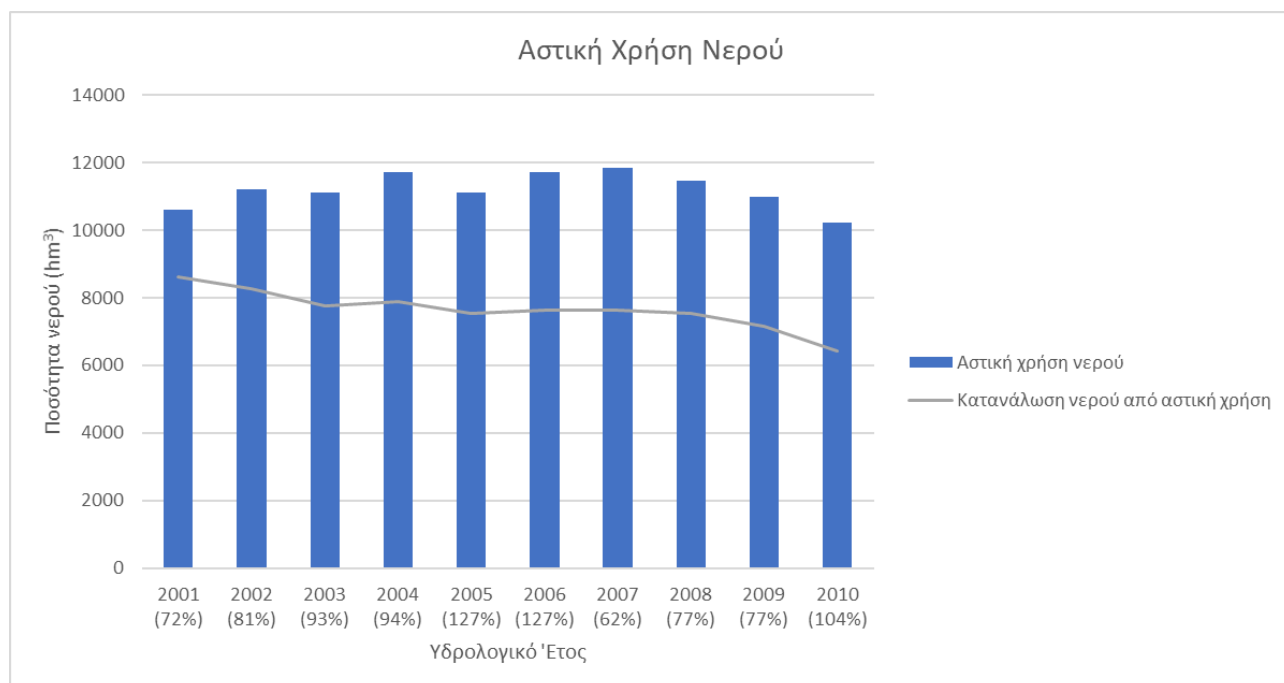
Σχήμα 2-13. Κατανομή του συνολικού διαθέσιμου νερού της Καλιφόρνιας στους βασικότερους χρήστες για τα υδρολογικά έτη 2001-2010.

Στο Σχήμα 2-14 παρέχεται σύγκριση μεταξύ του συνολικού διαθέσιμου νερού και του τμήματος αυτού που καταναλώνεται (73%, σχεδόν σταθερά για όλη τη δεκαετία 2001-2010).



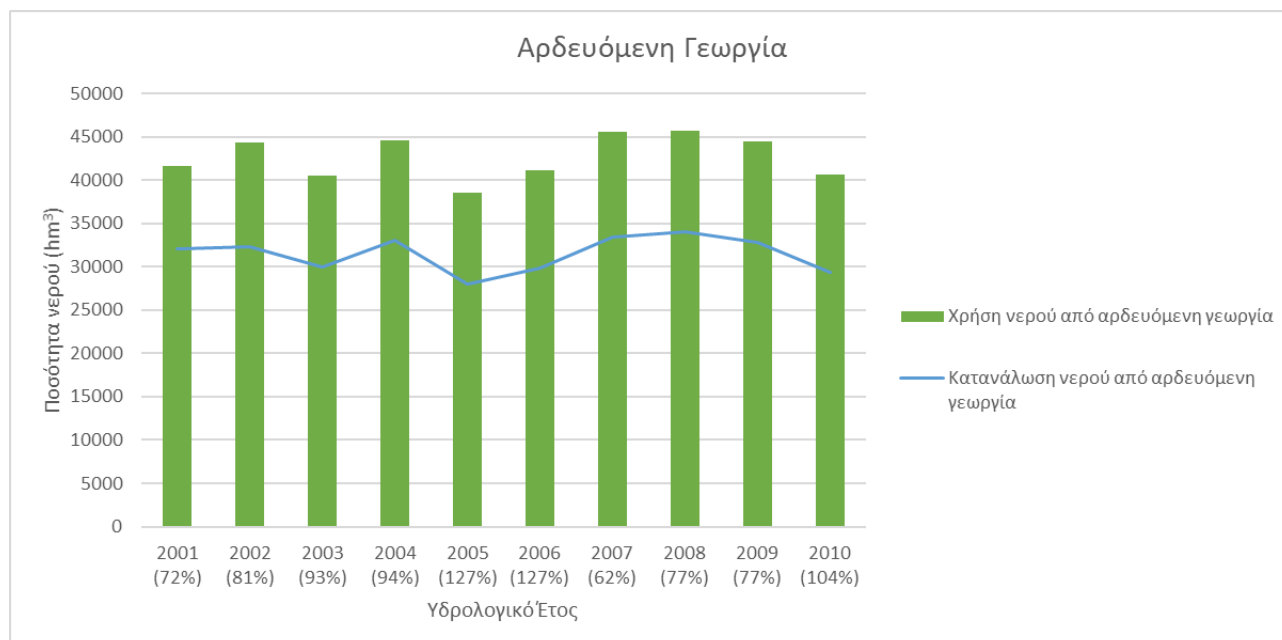
Σχήμα 2-14. Σύγκριση συνολικού διαθέσιμου νερού και του τμήματος αυτού που καταναλώθηκε στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2010.

Τα Σχήματα 2-15 και 2-16 διευκρινίζουν την ισορροπία μεταξύ απόληψης και κατανάλωσης νερού από τους χρήστες των πόλεων και από την αρδευόμενη γεωργία.



Σχήμα 2-15. Απόληψη και κατανάλωση νερού από τις πόλεις της Καλιφόρνιας στο διάστημα 2001-2010.

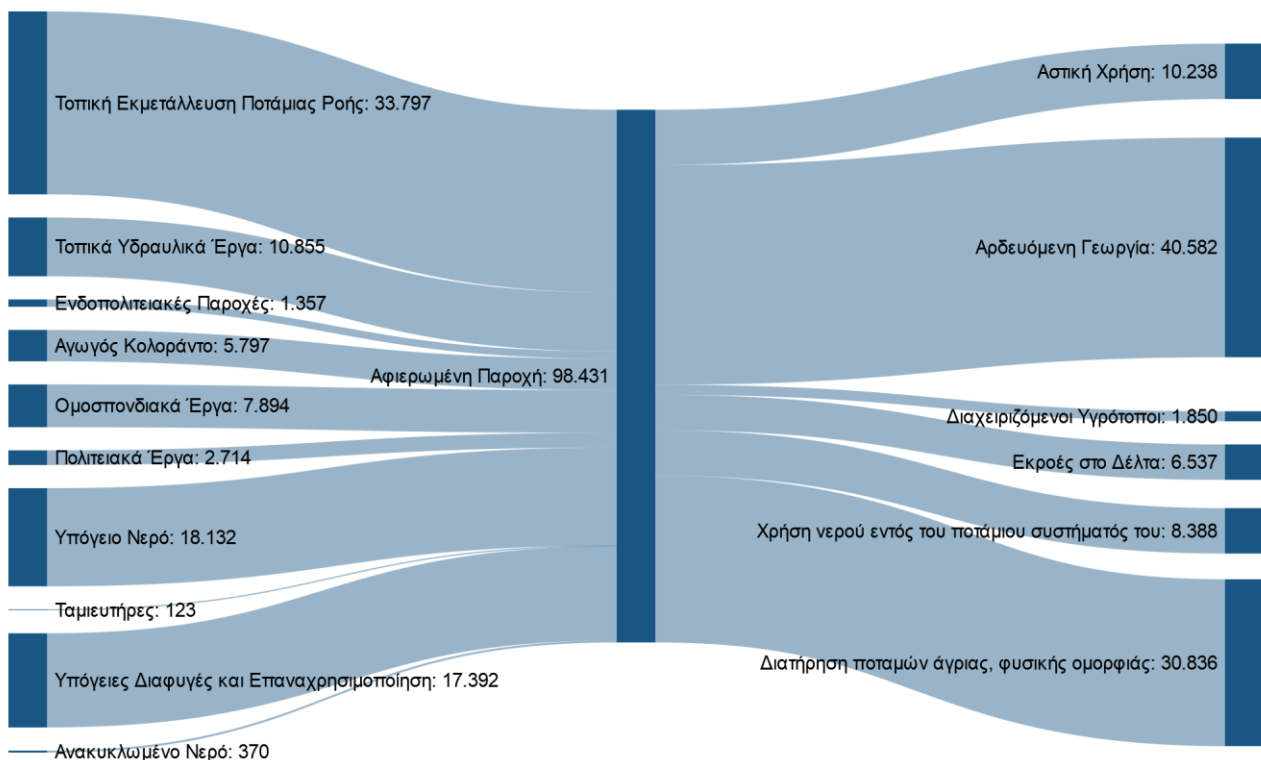
Στο Σχήμα 2-15 φαίνεται ότι η αστική χρήση του νερού παρέμεινε σχεδόν σταθερή την προηγούμενη δεκαετία. Παρ' όλ' αυτά, η ποσότητα του νερού που καταναλώθηκε από τις πόλεις της Καλιφόρνιας το 2001 αποτελούσε το 80% του συνολικού νερού που χρησιμοποιήσαν την ίδια χρονιά, ενώ το 2010 το αντίστοιχο ποσοστό μειώθηκε στο 60%. Η μείωση αυτή είναι αρκετά μεγάλη και ενδεχομένως, αντιπροσωπεύει μεταξύ άλλων και την αύξηση της ανακύκλωσης του νερού και επαναχρησιμοποίησής του, ώστε να μη χάνεται εντελώς από το σύστημα.



Σχήμα 2-16. Απόληψη και κατανάλωση αρδευτικού νερού στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2010.

Όσον αφορά το Σχήμα 2-16 και την άρδευση των καλλιεργειών, τόσο το συνολικό διαθέσιμο νερό για αυτή τη χρήση όσο και το μέρος αυτού που καταναλώνεται παρέμειναν σχεδόν σταθερά στο διάστημα 2001-2010. Μία πιθανή εξήγηση είναι, ότι εφόσον οι μέθοδοι και οι τεχνολογίες άρδευσης δε διαφοροποιήθηκαν ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης δεκαετίας, οι ανάγκες νερού παρέμειναν σταθερές, εκτός από μια μείωση το 2005, όπου τα επίπεδα βροχόπτωσης ήταν ιδιαίτερα υψηλά και άρα, κάποιο τμήμα αυτών των αναγκών ικανοποιήθηκε μέσω του «πράσινου νερού». Επίσης, οι μόνιμες απώλειες νερού κατά τη δραστηριότητα της γεωργίας, όπως η εξατμισοδιαπνοή ή η διήθηση του νερού στο υπέδαφος, δε διαφοροποιήθηκαν αισθητά από έτος σε έτος.

Χρησιμοποιώντας ως έτος αναφοράς το 2010, το οποίο ήταν ένα μέσο υδρολογικό έτος (617 mm βροχόπτωσης), σύμφωνα με το DWR-Natural Resources Agency (2013), στο Σχήμα 2-17 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα Sankey (Sankey diagram), το οποίο προσφέρει μία αρκετά καλή οπτικοποίηση των ροών του νερού (σε  $hm^3$ ) στην Καλιφόρνια.



Σχήμα 2-17. Αναπαράσταση της συνολικής διαθέσιμης παροχής νερού στην Καλιφόρνια και της διανομής της σε διάφορους χρήστες για το υδρολογικό έτος 2010.

## 2.4 Η ενέργεια

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, η Καλιφόρνια είναι η πολυπληθέστερη πολιτεία των Η.Π.Α., η τρίτη μεγαλύτερη σε έκταση και διαθέτει τη μεγαλύτερη οικονομία από όλες τις υπόλοιπες. Επομένως, τα χαρακτηριστικά μιας τέτοιας πολιτείας δικαιολογούν τη μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Συγκεκριμένα, η Καλιφόρνια έρχεται δεύτερη, μετά το Τέξας, σε αυτή τη μέτρηση (U.S. Energy Information Administration).

Όπως επισημαίνεται και στο προηγούμενο κεφάλαιο, όμως, ο γενικός όρος ενέργεια δεν είναι επαρκής για την εξαγωγή ασφαλών και χρήσιμων συμπερασμάτων σε μια ανάλυση WEFN. Διευκρινίζοντας, λοιπόν, την παραπάνω πληροφορία σχετικά με τη συνολική κατανάλωση ενέργειας, η οποία έχει δημοσιευθεί από τη Διοίκηση Ενεργειακών Πληροφοριών των Η.Π.Α. (U.S. Energy Information Administration ή EIA), αναφέρεται σε ενέργεια που καταναλώνεται είτε απευθείας με τη μορφή φυσικών πόρων, ύστερα από κάποια επεξεργασία (π.χ. βενζίνη για τη δημόσια συγκοινωνία μετά από διύλιση πετρελαίου) είτε με τη μορφή φορέων ενέργειας (π.χ. ηλεκτρικό ρεύμα για φωτισμό σε επιχειρησιακά κτίρια). Παρόλου που οι δύο αυτές μορφές ενέργειας δεν είναι συγκρίσιμες, διαφέρουν, δηλαδή, όχι μόνο στον ορισμό αλλά και στη φύση τους, η EIA χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αναγωγής των μονάδων τους σε British Thermal Units (Btu), με τα οποία κανονικά μετριέται θερμική ενέργεια, αλλά στην Αμερική αποτελεί, επιπλέον, την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μονάδα για σύγκριση ποσών ενέργειας, καταφέρνει να συγκεντρώνει δεδομένα συνολικής κατανάλωσης σε επίπεδο πολιτείας προσθέτοντας ποσότητες Btu.

Η διαχείριση της παραγωγής καυσίμων ή φορέων ενέργειας επηρεάζει πάντα τρία συστήματα:

α) Το περιβάλλον, από το οποίο προμηθεύεται ο άνθρωπος τις πρωτογενείς πηγές ενέργειας. Η ένταση με την οποία αντλούνται οι φυσικοί πόροι σε σχέση με την επαναφόρτιση των αποθεμάτων τους, όταν αυτή είναι εφικτή, έχει άμεσες επιπτώσεις στην ισορροπία των οικοσυστημάτων. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, λοιπόν, σε μια ανάλυση WEFN να παρακολουθούνται οι ποσότητες φυσικών πόρων που χρησιμοποιεί μία περιοχή, ακόμη και στην περίπτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με εξαίρεση την ηλιακή ακτινοβολία και τον άνεμο.

β) Την κοινωνία, η οποία έχει συγκεκριμένες ενεργειακές απαιτήσεις με μικρή έως μηδαμινή δυνατότητα διαπραγματεύσεώς τους, ειδικά σε ένα μέρος όπως η Καλιφόρνια, όπου και ο πληθυσμός της και η οικονομία της είναι πολύ μεγάλα. Η ισορροπία μεταξύ βιώσιμης εκμετάλλευσης φυσικών πόρων και ζήτησης από το κοινωνικό σύνολο είναι η ιδανική λύση, αλλά ο τρόπος με τον οποίο είναι δομημένες οι σημερινές δυτικές κοινωνίες και ειδικά τα αστικά κέντρα, δίνει αδιαπραγμάτευτη προτεραιότητα στην κάλυψη των κοινωνικών αναγκών, όση πίεση και αν μεταφέρουν αυτές στα οικοσυστήματα.

γ) Τον ίδιο τον τομέα παραγωγής, αφού στην περίπτωση περιορισμένων φυσικών πόρων σε συνδυασμό με υψηλή ζήτηση, μπορεί να προκληθούν λειτουργικά προβλήματα σε οποιοδήποτε μονάδα παραγωγής, με αποτέλεσμα να κλείσει.

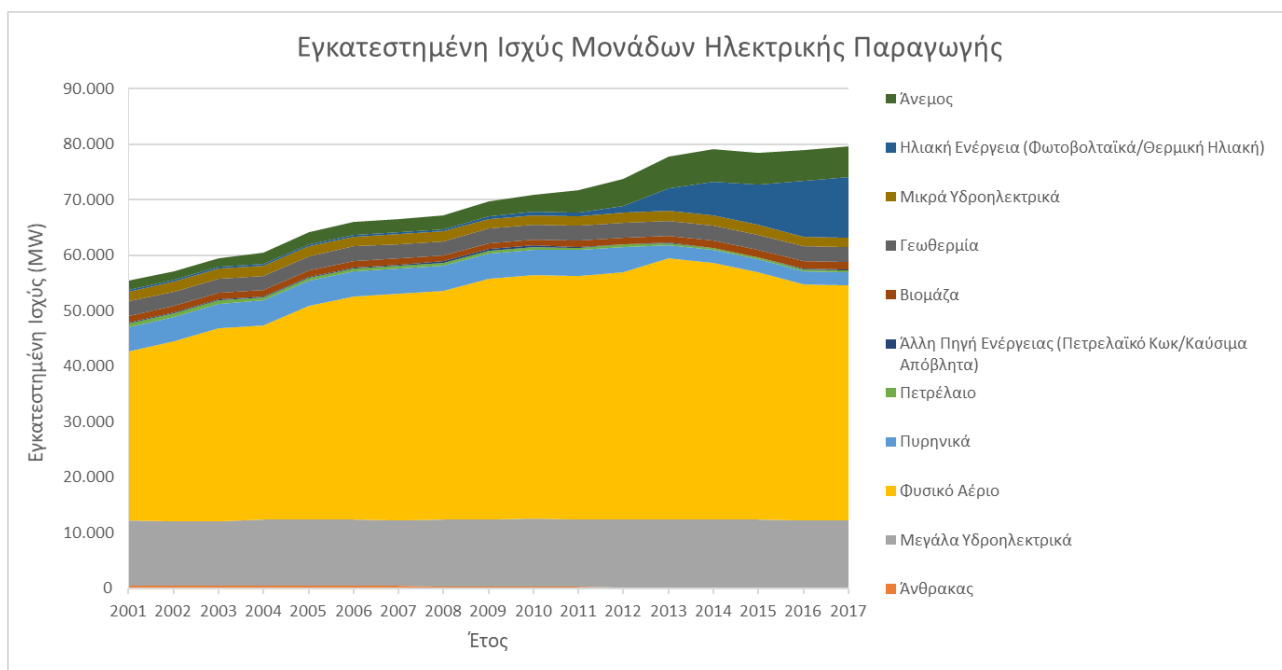
Οι δύο επικρατέστερες πηγές για τη συλλογή πληροφοριών ενέργειας για την περιοχή μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας είναι αφενός η ΕΙΑ, η οποία αναφέρθηκε και παραπάνω και αφετέρου η Ενεργειακή Επιτροπή της Καλιφόρνιας (California Energy Commission ή CEC). Η πρώτη είναι εξαιρετικά λεπτομερής και πλήρης με παροχή μεγάλων χρονοσειρών δεδομένων σε επίπεδο πολιτείας. Πολύ βασική έλλειψη, ωστόσο, την οποία η συγγραφέας, τουλάχιστον, δεν μπόρεσε να εντοπίσει, είναι ο τομέας της γεωργίας που δεν περιλαμβάνεται στους τελικούς χρήστες της ενέργειας, αλλά, παρ' όλ' αυτά, αποτελεί βασικό άξονα του WEFN.

Η CEC, αντίθετα, συμπεριλαμβάνει τη γεωργία στους τελικούς χρήστες τόσο της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και του φυσικού αερίου. Επιπλέον, περιέχει δεδομένα για την εγχώρια παραγόμενη αλλά και για την εισαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και τον τρόπο που αυτή παράχθηκε. Ειδικά για την πρώτη, τα δεδομένα είναι αναλυτικά και συνοδεύονται από άλλα που αφορούν την εγκατεστημένη ισχύ όλων των εργοστασίων της πολιτείας, την κατασκευή τους, την έναρξη λειτουργίας τους και πολλά ακόμη. Ωστόσο, εκλείπουν τα δεδομένα σχετικά με την πραγματική ποσότητα φυσικών πόρων (π.χ.  $m^3$  φυσικού αερίου) που χρειάζεται η πολιτεία για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Επίσης, η CEC δεν περιλαμβάνει τον τομέα των μεταφορών στους τελικούς χρήστες της ενέργειας· μια σημαντική έλλειψη, αφού ο συγκεκριμένος τομέας είναι από τους μεγαλύτερους χρήστες και μάλιστα, η Καλιφόρνια έχει επικεντρωθεί ιδιαίτερα στο να τον καταστήσει όσο το δυνατόν πιο «πράσινο» με σταδιακή αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων από βιοκαύσιμα ή παίρνοντας την πρωτοβουλία εισαγωγής στην αγορά ηλεκτρικών αυτοκινήτων.

Παρά τις παραπάνω ελλείψεις, η CEC διαθέτει το πλεονέκτημα της δημοσίευσης εκθέσεων σχετικά με τη χρήση ενέργειας για νερό και τροφή, οι οποίες θα αναφερθούν αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο. Η παροχή του τελευταίου είδους πληροφορίας και η συμβατότητα αυτών των δεδομένων με τα υπόλοιπα της προηγούμενης παραγράφου που δίνονται από τον ίδιο φορέα, αποτέλεσε τον κυριότερο παράγοντα επιλογής της CEC ως βασική πηγή δεδομένων, αφού καμία ανάλυση WEFN δεν είναι πλήρης χωρίς την ποιοτική και ποσοτική διερεύνηση της αλληλεπίδρασης της ενέργειας με το νερό και την τροφή. Το γεγονός ότι τα δεδομένα που προσφέρουν οι CEC και ΕΙΑ δεν είναι συμβατά-σε ορισμένες περιπτώσεις, ειδικά, διαφέρουν παραπάνω από μία τάξη μεγέθους-δεν άφησε κανένα περιθώριο συνδυαστικής χρήσης των δύο βάσεων. Εξαιτίας, λοιπόν, αυτής της επιλογής, η οποία κρίθηκε ως βέλτιστη, σε αυτήν την εργασία δεν πραγματοποιείται διερεύνηση της ποσότητας πρωτογενών πηγών ενέργειας-εξαιρείται το αργό πετρέλαιο-που εκμεταλλεύεται η Καλιφόρνια ετησίως και άρα, δεν αξιολογείται ολοκληρωμένα το περιβαλλοντικό της αποτύπωμα.

### 2.4.1 Ηλεκτρική Ενέργεια

Αρχικά, πρέπει να σημειωθεί, ότι μεταξύ 2001 και 2017 η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που είχε στη διάθεσή της η Καλιφόρνια αυξήθηκε περίπου 10%, διαγράφοντας μέγιστο το 2008. Από τότε, όμως, και στο εξής (2008-2017) παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας, με την τελευταία μέτρηση, για το 2017, να είναι 292039 GWh. Αυτό το φαινόμενο είναι αποτέλεσμα και των μέτρων υψηλής αποδοτικότητας φυσικών πόρων που έχει περάσει η πολιτεία, τα οποία στοχεύουν στη μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, διαμέσου αφενός της αναβάθμισης των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών των εργοστασίων παραγωγής και αφετέρου της μείωσης της ζήτησης (California Energy Commission, 2018b). Στο Σχήμα 2-18, το οποίο παράχθηκε με δεδομένα της ιστοσελίδας California Energy Commission (2018a), απεικονίζεται για τα έτη 2001-2017 η εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος των εργοστασίων που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια στην Καλιφόρνια, είτε αυτά εκμεταλλεύονται ανανεώσιμες είτε μη ανανεώσιμες πηγές.

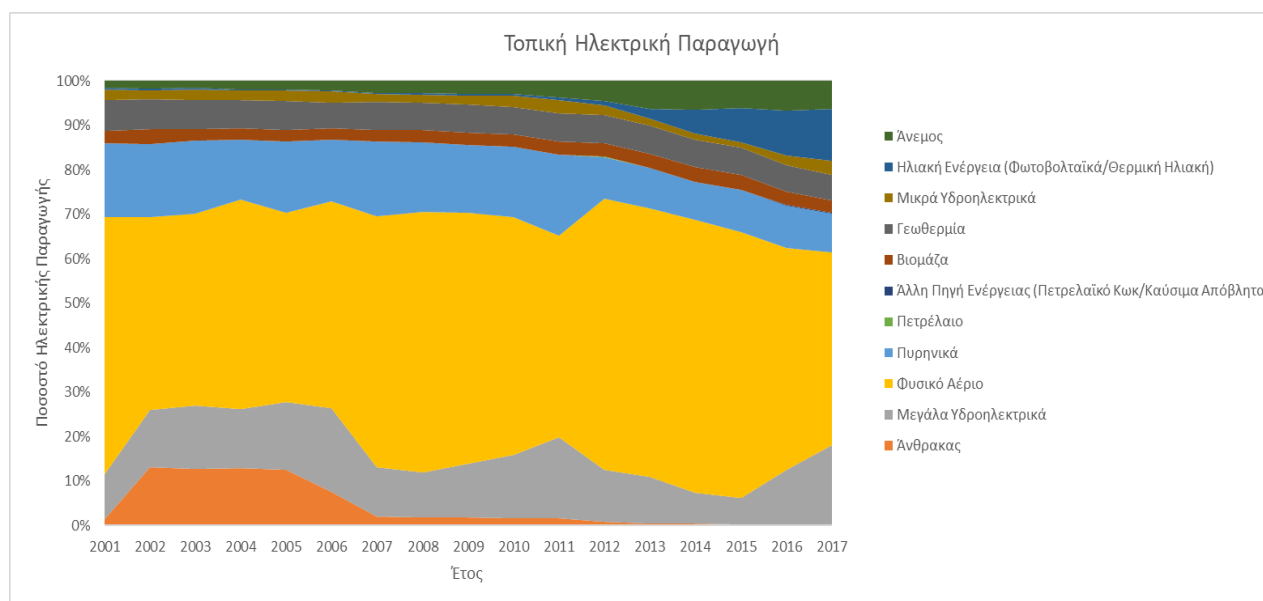


Σχήμα 2-18. Εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων ηλεκτρικής παραγωγής της Καλιφόρνιας στο διάστημα 2001-2017.

Σύμφωνα με το σχήμα, λοιπόν, η Καλιφόρνια διαθέτει σχεδόν 80000 MW εγκατεστημένο, ενεργειακό δυναμικό. Τα εργοστάσια φυσικού αερίου διαθέτουν συνολικά τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ από κάθε άλλο είδος εργοστασίων, τα μεγάλα υδροηλεκτρικά και τα ηλιακά ακολουθούν, με τα δεύτερα να εδραιώνονται απότομα τα τελευταία περίπου έξι χρόνια. Η τάση αυτή είναι ενδεικτική της πολιτικής αποφασιστικότητας της κυβέρνησης της Καλιφόρνιας, ώστε να δοθεί προτεραιότητα στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί η πάρα πολύ μικρή συνεισφορά των εργοστασίων καύσης άνθρακα και πετρελαϊκού κωκ ή άλλων καύσιμων αποβλήτων στη συνολική εγκατεστημένη ισχύ της πολιτείας, με τις μονάδες βιομάζας να είναι ελαφρώς περισσότερες. Όσον αφορά τις μονάδες καύσης άνθρακα, πλέον, δεν υπάρχει καμία που να ανήκει σε δημόσια υπηρεσία της πολιτείας, επακόλουθο και της πρωτοβουλίας μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που έχει ξεκινήσει εδώ και χρόνια στην Καλιφόρνια και αναφέρεται και στη συνέχεια (U.S. Energy Information Administration).

Στην πλειοψηφία των διάφορων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παρατηρείται αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος τους, πράγμα που σημαίνει δημιουργία καινούριων εργοστασίων και γενικότερα, επέκταση του ενεργειακού συστήματος. Όπως αντανακλάται και στο Σχήμα 2-18, εξαίρεση αποτελούν τα πυρηνικά εργοστάσια, όπου στα μέσα του 2013 έκλεισε το ένα από τα δύο, όπως επίσης, τα γεωθερμικά και τα μικρά υδροηλεκτρικά. Σύμφωνα με τη CEC, μικρά θεωρούνται τα υδροηλεκτρικά τα οποία διαθέτουν εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη από 30MW. Σε αυτά, συγκεκριμένα, η μείωση παρατηρείται από το 2012 έως το 2016, ενώ από τότε και έπειτα διαφαίνεται μια καινούρια αύξηση. Μεταξύ των ετών 2012 και 2016 η πολιτεία βίωσε την εντονότερη ξηρασία στην ιστορία της, η οποία συνοδεύτηκε, εκτός των άλλων, με πολύ χαμηλά επίπεδα βροχόπτωσης. Το γεγονός αυτό αποτελεί και τη λογικότερη εξήγηση για αυτή τη μείωση στα μικρά υδροηλεκτρικά, τα οποία, προφανώς, αντιμετώπισαν αδυναμία περάτωσης της λειτουργίας τους, όταν οι στάθμες των ποταμών μειώθηκαν ή ακόμη και ξεράθηκαν οι κοίτες τους, με αποτέλεσμα πολλές μονάδες να κλείσουν, προσωρινά ή μη. Τέλος, η εγκατεστημένη ισχύς των μεγάλων υδροηλεκτρικών της πολιτείας παραμένει σταθερή την τελευταία εικοσαετία, αφού στο ήδη δαιδαλώδες υδραυλικό της σύστημα, το οποίο παρεμβαίνει καθοριστικά στη φυσική ροή των ποταμών της, δεν υπάρχουν ιδιαίτερα μεγάλα περιθώρια κατασκευής επιπλέον φραγμάτων και ταμιευτήρων, αλλά ούτε και υπάρχει πρόθεση μείωσης αυτών.

Στο Σχήμα 2-19, τώρα, απεικονίζονται τα ποσοστά συνεισφοράς της εκάστοτε πρωτογενούς πηγής στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το προαναφερθέν εγκατεστημένο, ενεργειακό δυναμικό της Καλιφόρνιας, η οποία κατά μέσο όρο για το διάστημα 2001-2017 ήταν 207929 GWh.



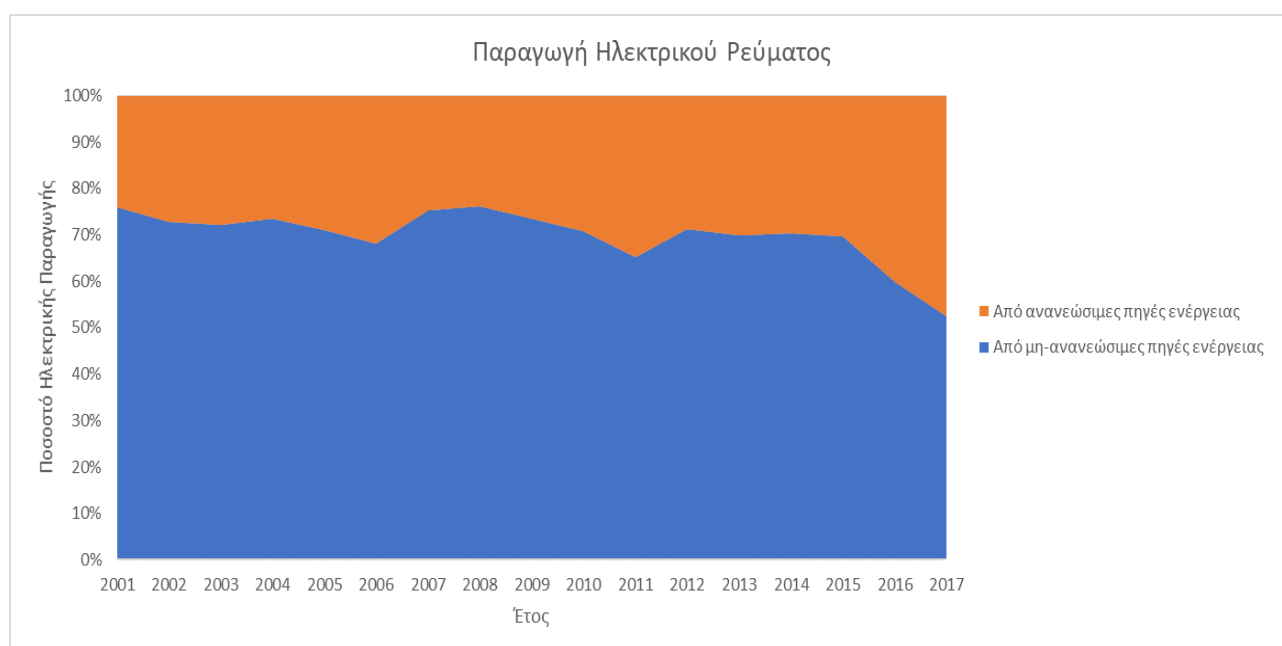
Σχήμα 2-19. Ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε εντός της Καλιφόρνιας στο διάστημα 2001-2017.

Πρώτ' απ' όλα, σχετικά με το τελευταίο σχήμα μπορούμε να παρατηρήσουμε την τεράστια συνεισφορά του φυσικού αερίου στην ηλεκτρική παραγωγή. Το 2017 αποτέλεσε το 43% αυτής, ενώ κατά τη διάρκεια της μεγάλης ξηρασίας των ετών 2012-2016 φαίνεται να συμπλήρωσε τη μειωμένη υδροηλεκτρική παραγωγή, η οποία το 2015 αποτέλεσε μόλις το 6% της συνολικής. Το 2017, όμως, φαίνεται ότι τα μεγάλα υδροηλεκτρικά, σε αντίθεση με τα μικρά, ανέκαμψαν. Η προερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια από πυρηνικά διατηρούνταν σταθερή για όλη τη δεκαετία του 2000, προσφέροντας περίπου 15% στη συνολική εγχώρια παραγωγή, μετά το πέρας της λειτουργίας του ενός εκ των δύο πυρηνικών εργοστασίων, όμως, η συνεισφορά αυτή μειώθηκε στο μισό. Συμπληρωματικά, εντυπωσιακή είναι η σταδιακή κατάργηση του άνθρακα από την παραγωγή ηλεκτρισμού, από το 13% του συνόλου το 2001 σε λιγότερο από 1% το 2017.



Ξεχωριστή αναφορά θα έπρεπε να γίνει για την κάθε μία από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ξεχωριστά, στην εκμετάλλευση των οποίων η Καλιφόρνια πρωταγωνιστεί ανάμεσα στις υπόλοιπες πολιτείες. Από αυτές, συμπεριλαμβανομένων των μεγάλων υδροηλεκτρικών, παράγαγε από το 2002 και για περίπου 14 χρόνια σχεδόν το 30% του ηλεκτρισμού της. Τα τελευταία δύο έτη (2016 και 2017), όμως, για τα οποία προσφέρονται πληροφορίες από τη CEC, το ποσοστό αυτό αναρριχήθηκε στο 47% (Σχήμα 2-20).

Χωρίς τη συμπερίληψη των υδροηλεκτρικών, το 2017 οι υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές συνέβαλαν κατά 30% στην εγχώρια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Συμπληρωματικά με το Σχήμα 2-20, μπορεί να σημειωθεί ότι στο διάστημα μελέτης (2001-2017) περίπου 40%, σταθερά, της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην πολιτεία προήλθε από πρωτογενείς πηγές που δεν εκπέμπουν CO<sub>2</sub>.



Σχήμα 2-20. Σύγκριση εγχώριας ηλεκτρικής παραγωγής από ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2017.

Αναλυτικότερα σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η Καλιφόρνια είναι η κορυφαία πολιτεία ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την αξιοποίηση γεωθερμικών πηγών, με σχεδόν 2700 MW εγκατεστημένης ισχύος και 43 μονάδες υπό λειτουργία, αντιπροσωπεύοντας, έτσι, 3/4 της συνολικής, παραγόμενης, γεωθερμικής ενέργειας των Η.Π.Α. (California Energy Commission-b; Electric Power Monthly-Geothermal, 2018). Σημαντικοί γεωθερμικοί πόροι έχουν ανιχνευθεί στις παράκτιες οροσειρές της, στις ηφαιστειακές περιοχές του βόρειου τμήματός της, στη λίμνη Σάλτον (Salton Sea) στα νότια και κατά μήκος του ανατολικού της συνόρου με τη Νεβάδα (California Energy Commission-a). Το Geysers, που βρίσκεται στην οροσειρά Μαγιακάμας (Mayacamas Mountains), βόρεια του Σαν Φρανσίσκο, αποτελεί το μεγαλύτερο συγκρότημα γεωθερμικών μονάδων στον κόσμο.

Η Καλιφόρνια έρχεται πρώτη στην Αμερική και στην παραγωγή ηλεκτρισμού από βιομάζα, παρόλο που στο Σχήμα 2-19 είναι εμφανές ότι η συγκεκριμένη πρωτογενής πηγή παράγει πολύ μικρό ποσοστό της συνολικής ηλεκτρικής της παραγωγής (Electric Power Monthly-Biomass, 2018). Με τον όρο βιομάζα ή waste-to-energy, σύμφωνα με τη CEC, εννοούνται τα οργανικά υπολείμματα φυτών και ζώων, τα οποία συγκεντρώνονται, πρωτίστως, από γεωργικές και δασικές καλλιέργειες.

Στην ουσία είναι απόβλητα και παραπροϊόντα, τα οποία αντί να αποτίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής, συλλέγονται και χρησιμοποιούνται ως καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας. Τέτοιου είδους απόβλητα μπορεί να αποτελούνται εκτός από γεωργικά υπολείμματα ή υπολείμματα ξυλείας σε δασικές περιοχές και από αστικά απόβλητα από ξύλο ή και άλλα.

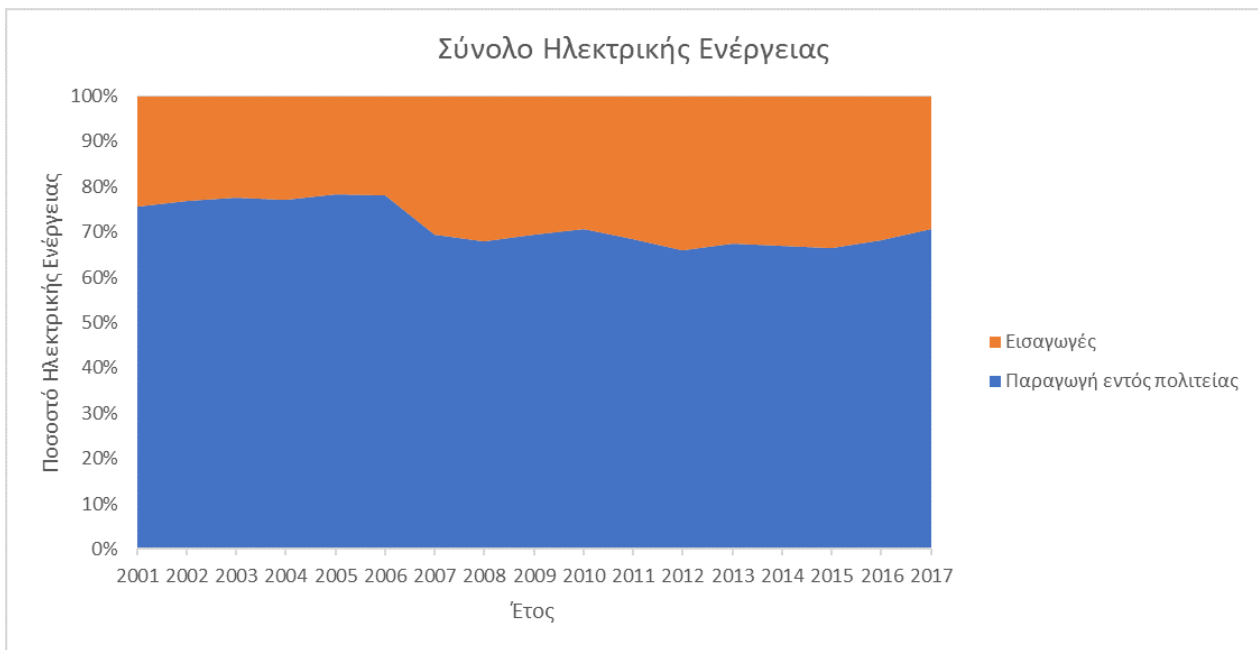
Συνεχίζοντας, αξιοποιώντας το ενεργειακό δυναμικό του ανέμου, το οποίο είναι διάσπαρτο σε όλη την πολιτεία, ειδικά κατά μήκος των κορυφογραμμών της προς τα νότια και ανατολικά και εκτός στεριάς κοντά στη βόρεια ακτή της, η Καλιφόρνια παράγει περισσότερο από 6% της συνολικής, εγχώριας, παραγόμενης, ηλεκτρικής της ενέργειας, ακολουθώντας το Τέξας, την Οκλαχόμα, την Αϊόβα και το Κάνσας (Electric Power Monthly-Biomass, 2018). Ενδεικτικά, το 2017 διέθετε ανεμογεννήτριες που αθροιστικά διέθεταν σχεδόν 5700 MW εγκατεστημένης ισχύος (Σχήμα 2-18).

Ολοκληρώνοντας την αναφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γίνεται λόγος για την ηλιακή ενέργεια. Το 2017 τα φωτοβολταϊκά και οι σταθμοί θερμικής ηλιακής ενέργειας (concentrated thermal power plants) παρήγαγαν περισσότερο από 10% του συνόλου (Σχήμα 2-19), διαθέτοντας ολικό εγκατεστημένο δυναμικό παραπάνω από 10800 MW (Σχήμα 2-18). Αν συμπεριληφθεί και η παραγωγή μικρής κλίμακας, δηλαδή, σε επίπεδο οικίας-επιχείρησης, το ποσοστό αυτό αυξάνεται ακόμη περισσότερο. Ωστόσο, αυτά τα στοιχεία δεν προσμετρώνται από τη CEC στη συνολική ηλεκτρική παραγωγή της πολιτείας. Οι σημαντικότερες πηγές ηλιακής ενέργειας της πολιτείας βρίσκονται στην έρημο Mojave στα νοτιοανατολικά, όπου είναι τοποθετημένες όλες οι θερμικές ηλιακές εγκαταστάσεις και τα μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά πάρκα (California Energy Commission-d, -f).

Παρ' όλ' αυτά, εγκαταστάσεις μικρότερης κλίμακας συναντώνται σε ολόκληρη την πολιτεία, η οποία ενθαρρύνει τους κατοίκους της να τις εφαρμόζουν στις ταράτσες των σπιτιών τους και των επιχειρήσεών τους. Τα μέσα για να το κάνει αυτό ήταν η καμπάνια «Go Solar California!», της οποίας βασικά προγράμματα υπήρξαν και τρέχουν ακόμη το CSI (California Solar Initiative) και το New Solar Homes Partnership (NSHP) (Go Solar California). Στα μέσα του 2018 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ηλιακών εγκαταστάσεων, τόσο μεγάλης κλίμακας και παροχής ρεύματος μέσω δημόσιων φορέων ενέργειας όσο και μικρής κλίμακας που ανήκουν στους ίδιους τους καταναλωτές, μετρούσε σχεδόν 23000 MW. Τέλος, η νομοθετική πράξη του 2019 σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων της πολιτείας (2019 Building Energy Efficiency Standard) προβλέπει ότι όλα τα σπίτια που θα χτιστούν από το 2020 και μετά οφείλουν να διαθέτουν φωτοβολταϊκά συστήματα (California Energy Commission, 2019).

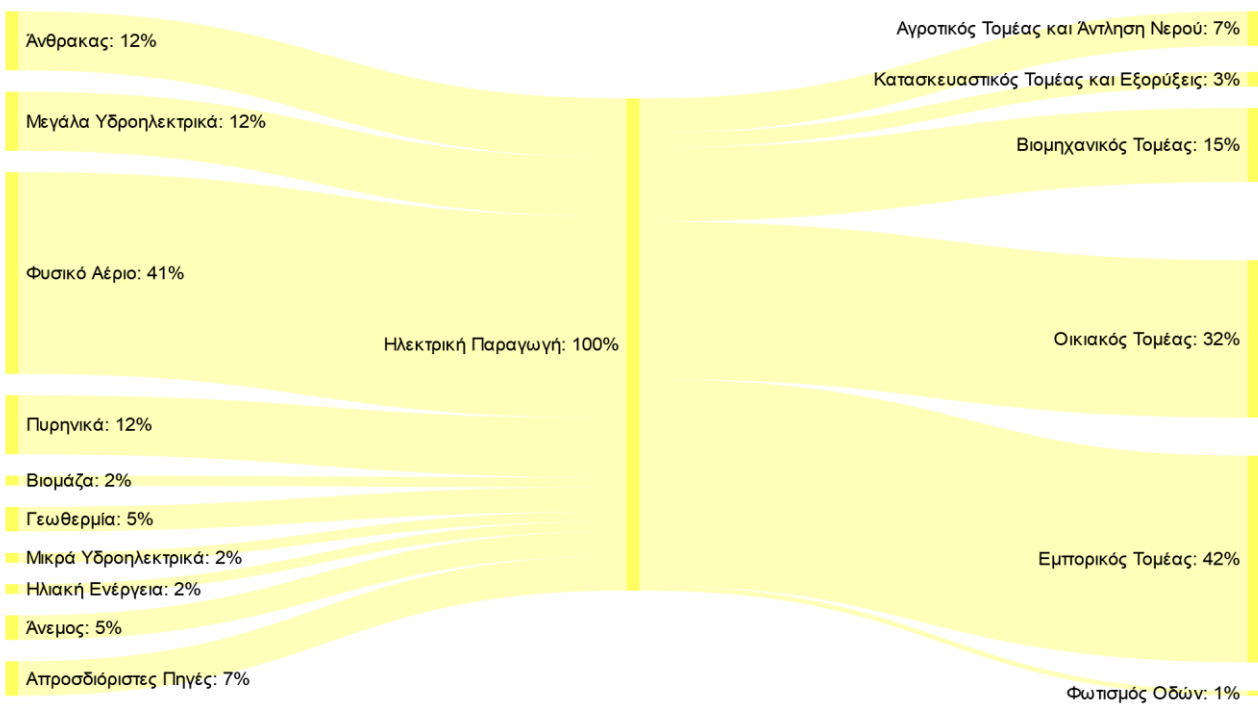
Η συνολική, όμως, ηλεκτρική ενέργεια που είναι διαθέσιμη στην Καλιφόρνια δεν προέρχεται μόνο από παραγωγή εντός της ίδιας της πολιτείας. Για την ακρίβεια, περισσότερο από 25% αυτής αποτελείται από εισαγωγές είτε από τα βορειοδυτικά της χώρας είτε από τα νοτιοδυτικά (Σχήμα 2-21). Το εισαγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα από τα βορειοδυτικά προέρχεται, κυρίως, από ανανεώσιμες πηγές, ενώ αυτό που εισάγεται από τα νοτιοδυτικά προέρχεται, κατά κύριο λόγο, από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μάλιστα, οι διακυμάνσεις στην παραγωγή των υδροηλεκτρικών εργοστασίων στα βορειοδυτικά, τα οποία εξάγουν ενέργεια στην Καλιφόρνια, συνήθως, οδηγούν σε ανάλογες αλλαγές στην προμήθεια εισαγόμενης ενέργειας από σταθμούς φυσικού αερίου στα νοτιοδυτικά (Boyd, 2007; Boyd et al., 2006).

Έτσι, η μέση τιμή της συνολικής διαθέσιμης ηλεκτρικής ενέργειας για την Καλιφόρνια από το 2001 έως το 2017 μετρήθηκε από τη CEC ως 292909 GWh.



Σχήμα 2-21. Ποσοστά εγχώρια παραγόμενης και εισαγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2017.

Στο Σχήμα 2-22, που ακολουθεί, παρουσιάζεται ένα διάγραμμα Sankey, το οποίο προσφέρει μία όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη εικόνα των μέσων τιμών των ροών της ενέργειας, σε ποσοστά, για τα έτη 2001-2017, ξεκινώντας από την εκμετάλλευση των διάφορων φυσικών πόρων στα αριστερά και φτάνοντας μέχρι την τελική διανομή της ηλεκτρικής παραγωγής στους διάφορους τομείς-χρήστες της κοινωνίας στα δεξιά. Η μέση τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που διατέθηκε στην κοινωνία στο διάστημα 2001-2017 ήταν περίπου 277360 GWh.

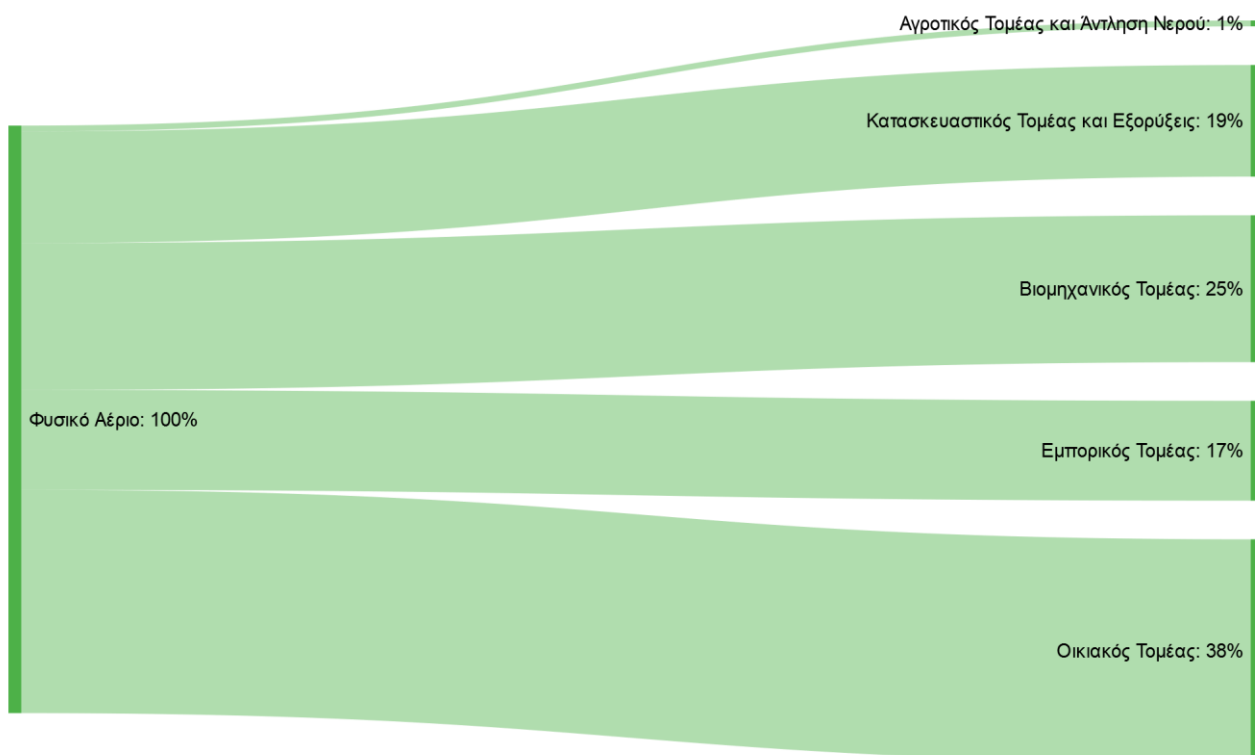


Σχήμα 2-22. Ποσοστιαία αναπαράσταση των ροών της ενέργειας στην Καλιφόρνια, όπως υπολογίστηκαν κατά μέσο όρο για το διάστημα 2001-2017.

## 2.4.2 Άλλα τμήματα του Ενεργειακού Μίγματος

Εκτός από ηλεκτρική ενέργεια η Καλιφόρνια, φυσικά, καταναλώνει και άλλες μορφές ενέργειας σε επίπεδο τελικής χρήσης, όπως είναι το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο.

Όσον αφορά το φυσικό αέριο, η πολιτεία βασίζεται σε εισαγωγές για το 90% της παροχής του (Supply and Demand of Natural Gas in California). Επιπλέον, 55% αυτού, δηλαδή, κατά μέσο όρο 36,4 δισεκατομμύρια m<sup>3</sup> για το 2001-2017, καταναλώνεται στη φυσική του μορφή από τους τελικούς χρήστες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-23, ενώ το υπόλοιπο 45% είναι αφιερωμένο στην ηλεκτρική παραγωγή, όπως είδαμε παραπάνω (Supply and Demand of Natural Gas in California). Σχεδόν 2/3 των κατοικιών της πολιτείας το χρησιμοποιούν για θέρμανση. Η παραγωγή και τα αποθέματά του στην Καλιφόρνια, όμως, αποτελούν λιγότερο από 1% της Αμερικής συνολικά. Τα σημαντικότερα αποθέματα εντοπίζονται, κυρίως, σε γεωλογικούς σχηματισμούς στο βόρειο τμήμα τις Κεντρικής Κοιλάδας, ορισμένοι στο νότιο τμήμα της ίδιας, σε παράκτιες περιοχές στα βόρεια και εκτός στεριάς κοντά στις νότιες ακτές της πολιτείας. Πέραν από τους ίδιους πόρους, πολλοί διαπολιτειακοί αγωγοί μεταφέρουν φυσικό αέριο στην Καλιφόρνια είτε από τις νοτιοδυτικές πολιτείες είτε από τα Βραχώδη Όρη (Rocky Mountains), καθώς επίσης, από τον δυτικό Καναδά, διαμέσου της Αριζόνας, της Νεβάδας και του Όρεγκον. Σχεδόν όλο το φυσικό αέριο που εισέρχεται στην πολιτεία παραμένει σε αυτήν είτε για χρήση είτε για αποθήκευση (Supply and Demand of Natural Gas in California).



Σχήμα 2-23. Ποσοστιαία κατανομή της μέσης τιμής για τα έτη 2001-2017 του φυσικού αερίου ως τελικό προϊόν σε διάφορους τομείς-χρήστες στην Καλιφόρνια.

Όσον αφορά, τώρα, το αργό πετρέλαιο (crude oil), η Καλιφόρνια διαθέτει αφθονία. Γεωλογικές λεκάνες με πολλά αποθέματα βρίσκονται κατά μήκος των παράκτιων περιοχών της, συμπεριλαμβανομένου του κόλπου του Σαν Φρανσίσκο και του Λος Άντζελες και στην Κεντρική Κοιλάδα. Από πλευράς κατανάλωσης βενζίνης και καυσίμων αεροσκαφών, η Καλιφόρνια έρχεται πρώτη στην Αμερική. Σχεδόν όλο το πετρέλαιο που καταναλώνεται εντός των συνόρων της είναι για τη λειτουργία του τομέα μεταφορών (U.S. Energy Information Administration). Ο βιομηχανικός

τομέας καταναλώνει λιγότερο από 1/8 της ποσότητας πετρελαίου που καταναλώνει ο προηγούμενος (U.S. Energy Information Administration).

## 2.5 Η τροφή

Από τη συνολική χερσαία έκταση των 403466 km<sup>2</sup> της Καλιφόρνιας τα 102386 km<sup>2</sup> (περίπου το 1/4) το 2017 αποτελούσαν εκτάσεις σχετικές με τη γεωργία. (United States Census Bureau, 2012). Υπενθυμίζεται ότι το ίδιο έτος οι εισπράξεις της πολιτείας από την πώληση γεωργικών προϊόντων ξεπέρασαν τα 50 δισεκατομμύρια δολάρια, καθιστώντας την Καλιφόρνια την ισχυρότερη γεωργική οικονομία στην Αμερική.

Την επιτυχία της αυτή οφείλει: α) στην πρωτοπορία που παρουσιάζουν διαχρονικά οι παραγωγοί της στην αναζήτηση νέων καλλιεργειών και πρακτικών β) στην πρωτοβουλία και την ανάληψη του ρίσκου αλλαγής του μίγματος καλλιεργειών όταν οι συνθήκες το προστάζουν (π.χ. με σκοπό την ανταπόκριση στις απαιτήσεις της αγοράς) γ) στις τεράστιες επενδύσεις για τον έλεγχο και τη μεταφορά γεωργικού νερού δ) στην αναγνώριση της ανάγκης ελέγχου των παρασίτων ε) στην επιλογή της μετακίνησης σε νέα εδάφη και κλιματικές ζώνες και στ) στη διαρκή ανατροφοδότηση μεταξύ καλλιεργητών και κατασκευαστών-εφευρετών. Όλα τα παραπάνω ονομάζονται σύμφωνα με τους Olmstead et al. (2008) «βιολογικές επενδύσεις» και συχνά, υπονομεύονται από την υπερεκτίμηση της μηχανοποίησης που έλαβε πολύ πρόωρα χώρα στον γεωργικό τομέα της Χρυσής Πολιτείας. Με λίγα λόγια, η επιτυχία της γεωργίας στην Καλιφόρνια αποτελεί την επιτομή του «μαθαίνοντας μέσω της πρακτικής» ή «learning by doing» (Olmstead & Rhode, 2017).

Κάνοντας λόγο για τη γεωργία της Καλιφόρνιας αναπόφευκτα πρέπει να τονιστεί ο ρόλος της Κεντρικής της Κοιλάδας. Αποτελεί τη μεγαλύτερη καλλιεργήσιμη έκταση της πολιτείας καλύπτοντας περίπου 51800 km<sup>2</sup>. Καταλαμβάνοντας κεντρική γεωγραφική θέση στην Καλιφόρνια, η κοιλάδα περιορίζεται από την οροσειρά Cascade (Cascade Range) στα βόρεια, από τη Σιέρα Νεβάδα στα ανατολικά, από την οροσειρά Tehachari στα νότια και από τις παράκτιες οροσειρές (Coast Ranges) και τον Κόλπο του Σαν Φρανσίσκο στα δυτικά. Η κοιλάδα συνιστά, σχεδόν εξολοκλήρου, μια απέραντη γεωργική περιοχή, η οποία αποστραγγίζεται από τους ποταμούς Sacramento και San Joaquin. Το μέσο πλάτος της είναι 80 περίπου km, ενώ σε μήκος εκτείνεται περίπου 645 km από την οροσειρά Tehachari έως το Redding στην κομητεία Shasta και υψομετρικά βρίσκεται περίπου στο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας (USGS California Water Science Center, 2017).

Η Κεντρική Κοιλάδα μπορεί να διαιρεθεί σε δύο μεγάλα τμήματα: το βόρειο 1/3 είναι γνωστό ως Κοιλάδα του Sacramento και τα νοτιότερα 2/3 ως Κοιλάδα του San Joaquin. Η δεύτερη, τώρα, μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε δύο μικρότερα τμήματα, τη λεκάνη San Joaquin (San Joaquin basin) και τη λεκάνη Tulare (Tulare basin). Οι κοιλάδες του Sacramento και San Joaquin συναντιούνται στην περιοχή του Δέλτα, στο σημείο όπου η συνδυασμένη απορροή των δύο αντίστοιχων ποταμών ρέει διαμέσου του μοναδικού φυσικού καναλιού της Κεντρικής Κοιλάδας, του πορθμού Carquinez ή Carquinez strait, με κατεύθυνση προς τον Κόλπο του Σαν Φρανσίσκο και τον Ειρηνικό Ωκεανό (USGS California Water Science Center, 2017).

Με το πέρασμα πολλών ετών, σήμερα, στην Κεντρική Κοιλάδα καλλιεργούνται περισσότερα από 250 είδη καλλιεργειών, γεγονός που την καθιστά μία από τις παραγωγικότερες περιοχές σε ολόκληρη τη γη. Περίπου 17% του τμήματος της αρδευόμενης γης στις Η.Π.Α. και 75% του αντίστοιχου τμήματος της Καλιφόρνιας συναντάται στην Κεντρική Κοιλάδα. Παρότι καταλαμβάνει λιγότερο από το 1% της καλλιεργήσιμης γης της χώρας, προμηθεύει 25% της τροφής της και 40% των φρούτων και των ξηρών καρπών της. Τα πιο εκτεταμένα είδη καλλιεργειών που διαθέτει είναι οι σπόροι δημητριακών, τα διάφορα είδη σανού, το βαμβάκι, οι ντομάτες, τα λαχανικά, τα εσπεριδοειδή, τα σπυροφόρα δέντρα, οι ξηροί καρποί και τα σταφύλια, τόσο για κατανάλωση απευθείας όσο και για την παραγωγή κρασιού. Επιπλέον, 20% των αναγκών της Αμερικής σε υπόγειο νερό προέρχονται

από την Κεντρική Κοιλάδα, καθιστώντας το σύστημα των υδροφορέων της το δεύτερο από πλευράς υπεράντλησης σε εθνικό επίπεδο (USGS California Water Science Center, 2017).

Μία ακόμη πολύ σημαντική γεωργική περιοχή της Καλιφόρνιας είναι η Κοιλάδα Imperial. Στο παρελθόν, η περιοχή αυτή κατακλύζονταν από νερά του ποταμού Κολοράντο και αυτός είναι ο λόγος που διαθέτει πλούσια εδάφη. Ωστόσο, η βροχόπτωση σε αυτό το γεωγραφικό σημείο της πολιτείας είναι ελάχιστη. Οι χειμώνες είναι ηλιόλουστοι και τα καλοκαίρια οι θερμοκρασίες εξαιρετικά υψηλές. Ο συνδυασμός των γόνιμων εδαφών, του ζεστού κλίματος και της ικανότητας των αγροτών να εφαρμόζουν άρδευση ακριβείας, με χρήση της κατάλληλης τεχνολογίας σε κάθε καλλιέργεια, έχουν καταστήσει τη συγκεκριμένη κοιλάδα μία από τις πιο παραγωγικές σε όλο τον κόσμο, επιτυγχάνοντας πολλαπλές συγκομιδές μέσα στο ίδιο έτος. Συγκεκριμένα, στην περιοχή αυτή παράγονται πάνω από 100 διαφορετικά είδη γεωργικών προϊόντων, όπως, μεταξύ άλλων, λαχανικά, πεπόνια, φρούτα, ξηροί καρποί (Austin, 2015a).

Μία ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης κοιλάδας είναι, ότι μέχρι ο ποταμός Κολοράντο να καταλήξει στο φράγμα Imperial, περιέχει ήδη πολλά διαλυμένα άλατα. Αυτό το γεγονός, σε συνδυασμό με το αργιλικό υπέδαφος της κοιλάδας, μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση αλάτων στο ριζικό σύστημα των καλλιεργειών, έχοντας ως αποτέλεσμα μικρότερα φυτά και κατ' επέκταση, μειωμένες σοδειές. Με σκοπό την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος, σχεδόν όλο το υπέδαφος της κοιλάδας καλύπτεται από σύστημα αποστράγγισης, αποτελούμενο από διάτρητους σωλήνες, οι οποίοι απομακρύνουν τα άλατα από τη ριζική ζώνη. Επιπλέον, ένα ανοιχτό δίκτυο αποστράγγισης από τάφρους, που διανύουν περίπου 2250 km, μεταφέρει τα άλατα στη λίμνη Salton (Austin, 2015a).

Αφού έχει γίνει αναφορά στις δύο κυριότερες γεωργικές κοιλάδες της Καλιφόρνιας, σε αυτό το σημείο σημειώνεται ότι οι τέσσερις κομητείες της με τα περισσότερα γεωργικά έσοδα το 2017 ήταν οι Kern, Tulare, Fresno και Monterey. Ο γεωργικός κλάδος της πολιτείας περιλαμβάνει στο σύνολό του περισσότερα από 400 διαφορετικά προϊόντα. Παραπάνω από 1/3 των λαχανικών της χώρας και 2/3 των φρούτων και ξηρών καρπών της, όπως προαναφέρθηκε, προέρχονται από την Καλιφόρνια (CDFA). Εφόσον η ποικιλία των γεωργικών προϊόντων της Καλιφόρνιας είναι τόσο μεγάλη, στο πλαίσιο αυτής της εργασίας η επιλογή συγκεκριμένου αριθμού από αυτά έγινε με τα εξής κριτήρια: α) την έκταση που καταλαμβάνουν σε σχέση με τη συνολική καλλιεργήσιμη γη β) τις εισπράξεις που επέφεραν από το 2009 έως το 2017 και γ) τις εξαγωγές τους από το 2011 έως το 2017. Οι χρονολογίες που ελήφθησαν υπόψη δεν είναι τυχαίες, αλλά επιβλήθηκαν από την περιορισμένη ύπαρξη δεδομένων για τα προηγούμενα έτη. Έτσι, λοιπόν, κατά αντιστοιχία, έχουμε τις εξής καλλιέργειες:

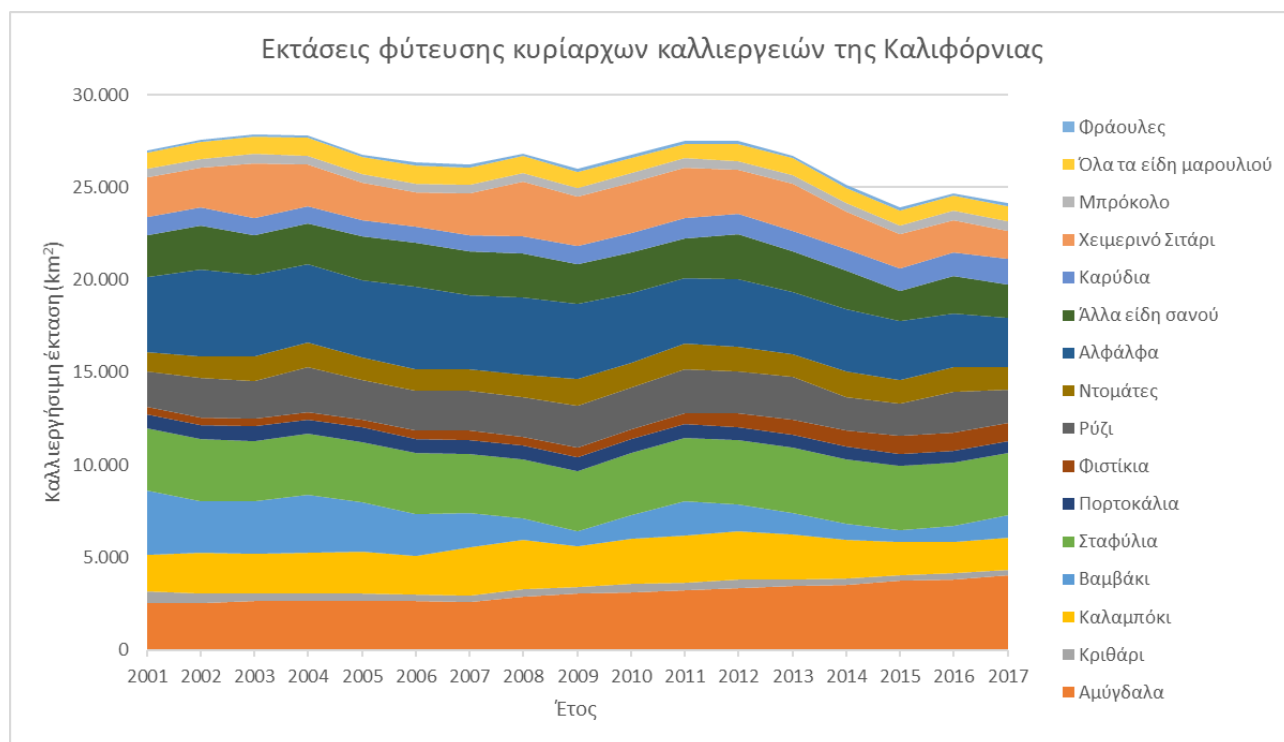
α) αμύγδαλα, αλφάλα, σταφύλια όλων των ειδών, καρύδια, χειμερινό σιτάρι (winter wheat), φιστίκια, ρύζι, άλλα είδη σανού εκτός από αλφάλα, βαμβάκι, πορτοκάλια, ντομάτες, κριθάρι και καλαμπόκι. Τα παραπάνω, με σειρά μειούμενης έκτασης, ανήκουν στις 15 επικρατέστερες καλύψεις γεωργικής γης στην Καλιφόρνια (National Agricultural Statistics Service).

β) μπρόκολο, μαρούλι, φράουλες, τα οποία, σύμφωνα με το Υπουργείο Τροφής και Γεωργίας της Καλιφόρνιας (California Department of Food and Agriculture ή CDFCA), μαζί με κάποια από τα παραπάνω (αμύγδαλα, αλφάλα και άλλα είδη σανού, σταφύλια, καρύδια, φιστίκια, πορτοκάλια και ντομάτες) αποτελούν τα πιο προσοδοφόρα γεωργικά προϊόντα της πολιτείας την εννιαετία 2009-2017 (CDFCA, 2013a, 2014b, 2016b, 2017b, 2018b).

γ) σταφύλια, τόσο για βρώση όσο και για παραγωγή κρασιού. Αυτά τα δύο προϊόντα μαζί με ορισμένα άλλα που ανήκουν παράλληλα και σε κάποια από τις δύο παραπάνω κατηγορίες ή και στις δύο, όπως αμύγδαλα, αλφάλα και άλλα είδη σανού, καρύδια, φιστίκια, ρύζι, βαμβάκι, πορτοκάλια, συσκευασμένες ντομάτες, οι οποίες διαφέρουν από τις φρέσκιες, κρασί και φράουλες αποτελούν τα περισσότερο εξαγόμενα γεωργικά προϊόντα της Καλιφόρνιας για το διάστημα 2011-2017 (CDFCA, 2014a, 2015a, 2016a, 2017a, 2018a).

Σημειώνεται ότι στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δεν ελήφθησαν υπόψη τα κτηνοτροφικά προϊόντα, τα οποία προσφέρουν αρκετά έσοδα στην πολιτεία και πρωταγωνιστούν μεταξύ των γεωργικών εξαγωγών της. Επίσης, δε συμπεριλήφθηκαν οι περιοχές που καλλιεργούνται αποκλειστικά και μόνο για βοσκή (π.χ. γρασίδι, τριφύλλι), παρόλο που καταλαμβάνουν πολύ μεγάλες εκτάσεις. Εξαιρούνται η αλφάλφα και ορισμένα άλλα είδη σανού. Ο λόγος της μη συμπερίληψης αυτών των στοιχείων, που αφορούν την κτηνοτροφία, είναι η ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου τομέα και η απαίτηση ειδικών γνώσεων ή εξειδικευμένης έρευνας, στην οποία δε δόθηκε προτεραιότητα.

Χρησιμοποιώντας στοιχεία ανά πενταετία (2002, 2007, 2012, 2017) της Εθνικής Αγροτικής Στατιστικής Υπηρεσίας (National Agricultural Statistics Service) του Υπουργείου Γεωργίας της Αμερικής (United States Department of Agriculture), έγινε η εκτίμηση ότι οι συνδυασμένες εκτάσεις των καλλιεργειών των παραπάνω τριών κατηγοριών κάλυπταν κατά μέσο όρο για το διάστημα 2001-2017 66% της συνολικής καλλιεργήσιμης γης (total cropland) και 78% της συνολικής καθαρής έκτασης συγκομιδής (harvested cropland) της Καλιφόρνιας. Για λόγους συντομίας, οι καλλιέργειες αυτές στο εξής θα αποκαλούνται κυρίαρχες καλλιέργειες. Στο Σχήμα 2-24, που παρατίθεται αμέσως μετά, απεικονίζονται οι εκτάσεις των κυρίαρχων καλλιεργειών που φυτεύτηκαν κάθε έτος από το 2001 έως το 2017.



Σχήμα 2-24. Εκτάσεις φύτευσης των κυρίαρχων καλλιεργειών της Καλιφόρνιας στο διάστημα 2001-2017.

Στον Πίνακα 2-1 παρουσιάζονται οι απαιτήσεις σε νερό καθεμίας από τις κυρίαρχες καλλιέργειες της Καλιφόρνιας, όπως υπολογίστηκαν με βάση την έκθεση United States Department of Agriculture (2014) του Υπουργείου Γεωργίας των Η.Π.Α.

Πίνακας 2-1. Απαιτούμενη εφαρμογή νερού για τις κυρίαρχες καλλιέργειες της Καλιφόρνιας.

Κυρίαρχη καλλιέργεια	Απαίτηση νερού/καλλιεργήσιμη έκταση ( $\text{h}^3/\text{km}^2$ )
Αμύγδαλα	0,8
Κριθάρι	0,5
Καλαμπόκι	1,0
Βαμβάκι	0,9
Σταφύλια	0,8
Πορτοκάλια	0,8
Φιστίκια	0,8
Ρύζι	1,4
Ντομάτες	0,8
Αλφάλφα	1,2
Άλλα είδη σανού	0,9
Καρύδια	0,8
Χειμερινό Σιτάρι	0,6
Μπρόκολο	0,9
Όλα τα είδη μαρουλιού	0,8
Φράουλες	0,2

Από τον Πίνακα 2-1 σε συνδυασμό με το Σχήμα 2-24 εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι αγρότες της Καλιφόρνιας προτιμούν, γενικά, καλλιέργειες με υψηλές απαιτήσεις σε νερό. Μάλιστα, οι τρεις πιο εκτεταμένες, δηλαδή η αλφάλφα, τα αμύγδαλα και τα σταφύλια, έχουν ιδιαίτερα μεγάλες ανάγκες σε νερό, με αποκορύφωμα την αλφάλφα. Αυτή, φυσικά, η επιλογή δεν είναι τυχαία. Παρόλο που οι τρεις αυτές καλλιέργειες από μεριάς κατανάλωσης νερού δεν είναι οι καταλληλότερες για εφαρμογή σε μια περιοχή όπως η Καλιφόρνια με έντονη λειψυδρία κατά τόπους, κοιτάζοντας κάποιος πιο προσεκτικά παρατηρεί, ότι είτε η απόδοση παραγωγής (yield) τους είτε η τιμή πώλησής τους είναι πολύ υψηλές.

Συγκεκριμένα, τα σταφύλια αποδίδουν πολύ μεγάλες σοδειές ανά μονάδα καλλιεργήσιμης έκτασης, το ίδιο και η αλφάλφα. Επιπλέον, μεγάλο τμήμα της παραγωγής σταφυλιών στην πολιτεία προορίζεται για τη δημιουργία κρασιού, το οποίο είναι ένα προϊόν πολυτελείας που επιφέρει πολλά έσοδα. Όσον αφορά την αλφάλφα, είναι ένα φυτό που καλλιεργείται όλο το χρόνο με δυνατότητα πολλαπλών περιόδων συγκομιδής και επιπλέον, υπάρχει μεγάλη ζήτηση από χώρες όπως η Κίνα και η Ιαπωνία. Τέλος, η μέση τιμή πώλησης των αμυγδάλων στο διάστημα 2001-2017 ήταν περίπου 4,8 \$/kg. Με δεδομένο ότι η Καλιφόρνια προμηθεύει 90% όλων των αμυγδάλων στις Η.Π.Α., γίνεται κατανοητό το κίνητρο των παραγωγών.

Αυτές οι τρεις καλλιέργειες επιβεβαιώνουν ακριβώς όσα ειπώθηκαν παραπάνω σχετικά με την προσαρμοστικότητα των παραγωγών της Καλιφόρνιας ως προς τις κινήσεις της αγοράς. Καθίσταται σαφές, ότι, ακόμη και σε συνθήκες περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού, ο γεωργικός τομέας της πολιτείας επενδύει σε ποικιλίες όχι με περιορισμένες αρδευτικές απαιτήσεις αλλά με υψηλή υδατική παραγωγικότητα (economic productivity of water), που είναι τα έσοδα σε \$/m<sup>3</sup> νερού που εφαρμόζεται (Cooley, 2015).



## 3 Μεθοδολογία

### 3.1 Γενικά

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής δε χρησιμοποιήθηκε κάποιο συγκεκριμένο, εμπορικό ή άλλο μοντέλο ή μέθοδος, όπως αυτά που παρουσιάστηκαν, για παράδειγμα, στο ανάλογο κεφάλαιο της Εισαγωγής (1.2). Μετά τη συλλογή όλων των απαραίτητων δεδομένων νερού, ενέργειας και τροφής που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και την επεξεργασία τους, ξεκίνησε το στάδιο ποσοτικοποίησης των αλληλεπιδράσεων που γνωρίζουμε από τη θεωρία του WEFN ότι υπάρχουν μεταξύ των μεταβλητών του και περιγράφηκαν αναλυτικά, επίσης, στο πρώτο κεφάλαιο (1.4). Οι αλληλεπιδράσεις ή ροές μεταξύ των στοιχείων του WEFN είναι έξι, δύο για κάθε ζεύγος που δύναται να δημιουργηθεί μεταξύ τους. Για λόγους καλύτερης κατανόησης θεωρείται ότι κάθε ροή αποτελείται από έναν αρχικό φυσικό πόρο ο οποίος χρησιμοποιείται από τον τελικό φυσικό πόρο κατά τη διαδικασία παραγωγής του δεύτερου.

Για την ποσοτικοποίηση, λοιπόν, αυτών των ροών και εφόσον το θεωρητικό-ενοσιολογικό πλαίσιο του WEFN ήταν πλήρως κατανοητό, διερευνήθηκε εκτεταμένα η βιβλιογραφία, με σκοπό την εύρεση κατάλληλων συντελεστών έντασης (factors of intensity) του εκάστοτε φυσικού πόρου για την παραγωγή των δύο άλλων. Οι συντελεστές που αντιστοιχούσαν στον αρχικό φυσικό πόρο της εκάστοτε ροής πολλαπλασιάστηκαν, στη συνέχεια, με τις ετήσιες, παραγμένες ποσότητες του τελικού φυσικού πόρου. Σε κάποιες περιπτώσεις, δε χρειάστηκε καν η αναζήτηση τέτοιων συντελεστών, καθώς διατίθεντο από έγκυρες πηγές έτοιμα δεδομένα σχετικά με τις επιζητούμενες αλληλεπιδράσεις, όπως για παράδειγμα, συνέβη με το αρδευτικό νερό.

Γενικά, επιχειρήθηκε ο υπολογισμός και η παρουσίαση χρονοσειρών αποτελεσμάτων για το διάστημα 2001-2017. Η επιλογή του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος δεν έγινε τυχαία, καθώς από την αρχή του τρέχοντος αιώνα η συλλογή των δεδομένων από τις διάφορες αρχές διαχείρισης των φυσικών πόρων της Καλιφόρνιας έγινε τακτική, συνεπής και στις περισσότερες περιπτώσεις χωρίς κενά. Ωστόσο, για κάποιες από τις προαναφερθείσες ροές οι χρονοσειρές που υπολογίστηκαν ήταν μικρότερες κατά ένα ή δύο χρόνια, όπως διευκρινίζεται και στο επόμενο κεφάλαιο, ή ακόμη αποδείχθηκε αδύνατη η διερεύνηση κάποιων ροών σε μορφή χρονοσειράς.

Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια, όπου ξεδιπλώνεται ολόκληρη η μεθοδολογία υπολογισμού των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μεταβλητών του WEFN.

### 3.2 Οι αλληλεπιδράσεις των στοιχείων του WEFN στην Καλιφόρνια

#### 3.2.1 Νερό για ενέργεια

Σε αυτό το σημείο υπενθυμίζεται, σε συνέχεια του εισαγωγικού κεφαλαίου 1.4.1, ότι το νερό χρησιμοποιείται κατά κόρον από τον τομέα της ενέργειας και κατόπιν, παρουσιάζεται όλη η διαδικασία υπολογισμού της συνολικής ποσότητας νερού που αντλήθηκε και της επιμέρους που καταναλώθηκε από το 2001 έως το 2017 στην Καλιφόρνια από τους εξής χρήστες του τομέα της ενέργειας: εργοστάσια άνθρακα, φυσικού αερίου, βιομάζας, πυρηνικά, γεωθερμικά, υδροηλεκτρικά, ανεμογεννήτριες και εγκαταστάσεις CSP και φωτοβολταϊκών, με σκοπό την παραγωγή ενέργειας και εργοστάσια φυσικού αερίου και πετρελαίου, με σκοπό την απευθείας χρήση του αντίστοιχου φυσικού πόρου.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί, ότι δεν συνυπολογίστηκε ως χρήστης νερού για παραγωγή ενέργειας η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην Καλιφόρνια η καλλιέργεια των συγκεκριμένων φυτών είναι περιορισμένη και ουσιαστικά, η συνεισφορά τους στο ενεργειακό της μίγμα είναι μηδαμινή. Εκτός αυτού, τα δεδομένα σχετικά με το είδος τέτοιων καλλιεργειών που επιλέγονται στην πολιτεία, σε ποιες περιοχές δοκιμάζονται αλλά και ποιες είναι οι

απαιτήσεις τους σε νερό είναι δυσεύρετα. Οι κυριότερες πληροφορίες βασίζονται σε πειραματικές δοκιμές που εφαρμόζονται σε κάποια σημεία της πολιτείας και οι οποίες αναφέρονται πιο αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

Οι υπολογισμοί, λοιπόν, παρουσιάζονται χωρισμένοι σε δύο κατηγορίες, με στόχο την καλύτερη παρακολούθησή τους. Έτσι, αρχικά, παρατίθεται η διαδικασία υπολογισμού της ετήσιας ποσότητας νερού που απαιτήθηκε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από κάθε πρωτογενή πηγή, όπως αυτές αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο (2.4.1), στο διάστημα μελέτης 2001-2017. Στη συνέχεια, ακολουθεί η διαδικασία υπολογισμού της ετήσιας ποσότητας νερού που χρειάστηκε στο ίδιο διάστημα για την εξεύρεση, την εξόρυξη, την επεξεργασία, την ανάκτηση και τη διύλιση του πετρελαίου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως καύσιμο, διαθέσιμο, κατά κύριο λόγο, για τις μεταφορές αλλά και για τη βιομηχανία της πολιτείας. Τέλος, αν η ποσότητα δεν ήταν αμελητέα, μία τρίτη κατηγορία θα αποτελούσε η αναγκαία, ετήσια ποσότητα νερού για την εξεύρεση, εξόρυξη, επεξεργασία και μεταφορά του φυσικού αερίου, το οποίο αντί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καταναλώθηκε ως τελικό προϊόν από την κοινωνία.

### I. Απόληψη και κατανάλωση νερού για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η ποσότητα του νερού υπολογίστηκε με βάση διάφορους συντελεστές απόληψης (withdrawal) και κατανάλωσης (consumption) ( $m^3/MWh$ ). Οι συντελεστές αυτοί προέκυψαν από τους Meldrum et al. (2013), οι οποίοι στο άρθρο τους αυτό παρέχουν εκτιμήσεις για την απόληψη και κατανάλωση νερού κατά τη διάρκεια του πλήρους κύκλου ζωής των σταθμών ηλεκτρικής παραγωγής (full life cycle assessment), οι οποίοι εκμεταλλεύονται κάθε φορά και διαφορετική πρωτογενή πηγή ενέργειας. Ο κύκλος ζωής ενός εργοστασίου, σύμφωνα με το εν λόγω άρθρο, αποτελείται από την κατασκευή των εγκαταστάσεων (κύκλος εγκαταστάσεων σταθμού και εξοπλισμού ή power plant cycle), την απόκτηση της πρωτογενούς πηγής ενέργειας, την επεξεργασία της και τη μεταφορά της (κύκλος καυσίμου ή fuel cycle), τη λειτουργία, στη συνέχεια, του ίδιου του σταθμού και τέλος, του παροπλισμού του (κύκλος λειτουργιών ή operations cycle).

Οι Meldrum et al. (2013), λοιπόν, διαθέτουν συντελεστές νερού για εργοστάσια καύσης άνθρακα και φυσικού αερίου, για πυρηνικά και γεωθερμικά εργοστάσια, για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών και CSP, καθώς επίσης, για ανεμογεννήτριες. Η έρευνά τους επεξεργάστηκε μεγάλο αριθμό δημόσια διαθέσιμων πηγών, συγκεκριμένα 138, οι οποίες ελέγχθηκαν ποιοτικά και εναρμονίστηκαν μεταξύ τους μεθοδολογικά, ώστε να καλυφθούν τα πληροφοριακά κενά από πηγή σε πηγή αλλά και εντός των ίδιων των πηγών και τελικά, κατέληξε στους εν λόγω συντελεστές. Στο συγκεκριμένο άρθρο δίνονται αντίστοιχοι συντελεστές για τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια, τα οποία λειτουργούν τελείως διαφορετικά από όλα τα παραπάνω και γι' αυτό το λόγο, οι υπολογισμοί σχετικά με την απόληψη και κατανάλωση νερού από αυτά παρουσιάζεται ξεχωριστά στη συνέχεια, αλλά και για εργοστάσια βιομάζας με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για τα οποία δίνονται πιο χονδροειδείς συντελεστές από διαφορετική πηγή.

Εφόσον οι διαθέσιμοι συντελεστές δίνονται σε  $m^3/MWh$ , ήταν απαραίτητη η γνώση της ετήσιας, παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις διάφορες πρωτογενείς πηγές (Πίνακας 3-1). Το πετρέλαιο και άλλες πηγές, όπως το πετρελαϊκό κωκ ή τα καύσιμα απόβλητα, που, σύμφωνα με τον Πίνακα 3-1 αποτελούσαν πολύ μικρά ποσοστά της συνολικά παραγόμενης ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου της ανάλυσης, δε συνυπολογίστηκαν στους υπολογισμούς. Επιπλέον, ούτε για τις ανεμογεννήτριες πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί, διότι, σύμφωνα με τους Meldrum et al. (2013), χρησιμοποιούν σχεδόν μηδενικές ποσότητες νερού σε όλο τον κύκλο ζωής τους.

Πίνακας 3-1. Εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2017.

Πρωτογενής Πηγή Ενέργειας	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Άνθρακας	2.810	27.618	27.222	28.589	28.129	17.573	4.190	3.977	3.735	3.406	3.120	1.580	1.018	1.011	538	324	302
Μεγάλα Υδροηλεκτρικά	20.144	26.937	30.889	29.703	34.500	43.088	23.283	21.040	25.147	29.315	36.583	23.202	20.754	13.739	11.569	24.410	36.920
Φυσικό Αέριο	116.151	90.898	92.356	104.977	96.088	106.968	118.228	122.216	116.726	109.752	91.233	121.716	120.863	122.005	117.490	98.831	89.564
Πυρηνικά	33.294	34.353	35.594	30.241	36.155	31.959	35.692	32.482	31.509	32.214	36.666	18.491	17.860	17.027	18.525	18.931	17.925
Πετρέλαιο	0	0	0	0	0	0	0	0	67	52	36	90	38	45	54	37	33
Άλλη Πηγή Ενέργειας (Πετρελαϊκό Κωκ/Καύσιμα Απόβλητα)	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	13	14	14	16	14	394	409
Βιομάζα	5.762	7.140	5.574	5.903	6.045	5.735	5.398	5.720	5.940	5.798	5.807	6.031	6.423	6.768	6.362	5.868	5.827
Γεωθερμία	13.525	13.946	13.771	14.000	14.379	13.448	12.999	12.907	12.907	12.740	12.685	12.733	12.485	12.186	11.994	11.582	11.745
Μικρά Υδροηλεκτρικά	4.844	4.382	5.146	4.669	5.386	5.788	3.675	3.729	4.044	4.993	6.148	4.257	3.343	2.737	2.423	4.567	6.413
Ηλιακή Ενέργεια (Φωτοβολταϊκά/Θερμική Ηλιακή)	837	864	758	741	660	616	668	724	850	908	1.097	1.834	4.291	10.585	15.046	19.783	24.331
Άνεμος	3.242	3.546	3.491	4.258	4.446	4.927	5.723	5.724	6.249	6.172	7.598	9.152	12.694	13.074	12.180	13.500	12.867
<b>Σύνολο</b>	<b>200.609</b>	<b>209.685</b>	<b>214.801</b>	<b>223.081</b>	<b>225.788</b>	<b>230.102</b>	<b>209.856</b>	<b>208.519</b>	<b>207.180</b>	<b>205.350</b>	<b>200.987</b>	<b>199.101</b>	<b>199.783</b>	<b>199.193</b>	<b>196.195</b>	<b>198.227</b>	<b>206.336</b>

Με εξαίρεση, λοιπόν, τα μικρά και μεγάλα υδροηλεκτρικά, για τα οποία γίνεται λόγος αναλυτικά παρακάτω, το πετρέλαιο, κάποιες άλλες δευτερεύουσες πηγές και τις ανεμογεννήτριες, ακολούθως, παρατίθεται η διαδικασία υπολογισμού των ποσοτήτων απόληψης και κατανάλωσης νερού κατά την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της εκμετάλλευσης όλων των υπόλοιπων πρωτογενών πηγών ενέργειας.

- Εργοστάσια Άνθρακα

Επειδή από την CEC δε διατίθενται δεδομένα για τα εργοστάσια άνθρακα που υπήρχαν στην πολιτεία μέχρι και την προηγούμενη δεκαετία (σήμερα δεν υπάρχει κανένα), πόσο μάλλον για τα συστήματα ψύξης τους, οι συντελεστές του κύκλου λειτουργίας τους θεωρήθηκαν ως οι μέσοι όροι των συντελεστών που αντιστοιχούν στα ψυκτικά συστήματα open loop cooling, cooling tower και pond cooling (Πίνακας 3-2). Για τον κύκλο του καυσίμου επιλέχθηκαν οι συντελεστές για την εξόρυξη κοινοποιημένου άνθρακα, ενώ για τον κύκλο εγκαταστάσεων οι συντελεστές θεωρήθηκαν μηδενικοί, σύμφωνα, πάντα, με τους Meldrum et al. (2013).

Πίνακας 3-2. Συντελεστές συνολικής απόληψης και επιμέρους κατανάλωσης νερού για τα εργοστάσια καύσης άνθρακα.

	Απόληψη νερού(m <sup>3</sup> /MWh)	Κατανάλωση νερού (m <sup>3</sup> /MWh)
	Μέση Τιμή	Μέση Τιμή
Κύκλος Καυσίμου	0,22	0,21
Κύκλος Εγκαταστάσεων	0	0
Κύκλος Λειτουργίας	57,61	1,78
<b>Σύνολο</b>	<b>57,83</b>	<b>1,99</b>

- Εργοστάσια φυσικού αερίου

Έγινε η υπόθεση, ότι το φυσικό αέριο το οποίο εισέρχεται στα εργοστάσια της Καλιφόρνιας με σκοπό την ηλεκτροπαραγωγή είναι εξ' ολοκλήρου συμβατικό, μιας και παρά τις υπεραισιόδοξες εκτιμήσεις της κεντρικής κυβέρνησης των Η.Π.Α. σχετικά με τα αποθέματα της Χρυσής Πολιτείας σε σχιστολιθικό φυσικό αέριο, μέχρι στιγμής, η εφαρμογή της τεχνολογίας της υδραυλικής ρηγμάτωσης (hydraulic fracturing) δεν έχει καθιερωθεί. Όσον αφορά, τώρα, την τεχνολογία ψύξης, επειδή ούτε

σε αυτήν την περίπτωση βρέθηκαν δεδομένα για το κάθε εργοστάσιο ξεχωριστά, οι συντελεστές του κύκλου λειτουργίας, που εμφανίζονται στον Πίνακα 3-3, προέκυψαν ως οι μέσοι όροι των συντελεστών όλων των τεχνολογιών ψύξης τις οποίες εξετάζουν οι Meldrum et al. (2013). Οι συντελεστές του κύκλου εγκαταστάσεων θεωρήθηκαν και πάλι μηδενικοί.

Πίνακας 3-3. Συντελεστές συνολικής απόληψης και επιμέρους κατανάλωσης νερού για τα εργοστάσια φυσικού αερίου.

	Απόληψη νερού(m <sup>3</sup> /MWh)	Κατανάλωση νερού (m <sup>3</sup> /MWh)
	Μέση Τιμή	Μέση Τιμή
Κύκλος Καυσίμου	0,02	0,02
Κύκλος Εγκαταστάσεων	0	0
Κύκλος Λειτουργίας	22,57	0,96
Σύνολο	22,59	0,98

- Πυρηνικά εργοστάσια

Επειδή, όπως έχει προαναφερθεί, στα μέσα του 2013 το ένα από τα δύο πυρηνικά εργοστάσια της Καλιφόρνιας (San Onofre Nuclear Generation Station ή SONGS) έπαψε να λειτουργεί, για τα έτη 2012-2017 στους υπολογισμούς συμπεριλήφθηκε μόνο το δεύτερο (Diablo Canyon), ενώ για τα έτη 2001-2011 εξετάστηκαν και τα δύο. Στη συνολική ποσότητα νερού δε συμπεριλήφθηκε το νερό ψύξης, μιας και τα δύο χρησιμοποιούν ή χρησιμοποιούσαν θαλασσινό νερό γι' αυτό το σκοπό. Οι συντελεστές νερού για τον κύκλο εγκαταστάσεων θεωρήθηκαν και εδώ ίσοι με το μηδέν, οπότε, όσον αφορά τον κύκλο του καυσίμου, όπου στη βιβλιογραφία δίνονται συντελεστές τόσο για centrifuge enrichment όσο και για diffusion enrichment, επιλέχθηκε η δεύτερη τεχνολογία εμπλουτισμού του ουρανίου, αφού, σύμφωνα με την έκθεση των Mehta et al. (2007), το πρώτο πυρηνικό εργοστάσιο σε ολόκληρη την Αμερική με τεχνολογία centrifuge enrichment κατασκευάστηκε το 2010. Στον ακόλουθο Πίνακα 3-4 παρουσιάζονται, συγκεντρωμένα, οι προαναφερθέντες συντελεστές.

Πίνακας 3-4. Συντελεστές συνολικής απόληψης και επιμέρους κατανάλωσης νερού για τα πυρηνικά εργοστάσια.

	Απόληψη νερού(m <sup>3</sup> /MWh)	Κατανάλωση νερού (m <sup>3</sup> /MWh)
	Μέση Τιμή	Μέση Τιμή
Κύκλος Καυσίμου	0,53	0,33
Κύκλος Εγκαταστάσεων	0	0
Κύκλος Λειτουργίας	-	-
Σύνολο	0,53	0,33

- Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις

Πρώτ' από όλα, σε αυτήν την κατηγορία συμπεριλήφθηκαν μόνο οι εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας, αυτές, δηλαδή, που είναι συνδεδεμένες με το κεντρικό, ηλεκτρικό δίκτυο της πολιτείας, ενώ τα σπίτια και οι επιχειρήσεις που είναι εφοδιασμένα με εξοπλισμό φωτοβολταϊκών πάνελ, τα οποία είναι πάρα πολλά στην Καλιφόρνια, δεν προσμετρήθηκαν. Επιπλέον, τα φωτοβολταϊκά είναι η μόνη κατηγορία η οποία, σύμφωνα με τους Meldrum et al. (2013), χρησιμοποιεί νερό κατά τη διάρκεια του κύκλου εγκαταστάσεων. Ο κύκλος καυσίμου τους διαθέτει, φυσικά, μηδενικούς συντελεστές, ενώ για τους άλλους δύο κύκλους οι συντελεστές προέκυψαν ως μέσοι όροι των διάφορων διαθέσιμων από τη βιβλιογραφία (Πίνακας 3-5).

Πίνακας 3-5. Συντελεστές συνολικής απόληξης και επιμέρους κατανάλωσης νερού για τις εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών.

	Απόληξη νερού(m <sup>3</sup> /MWh)	Κατανάλωση νερού (m <sup>3</sup> /MWh)
	Μέση Τιμή	Μέση Τιμή
Κύκλος Καυσίμου	-	-
Κύκλος Εγκαταστάσεων	0,21	0,16
Κύκλος Λειτουργίας	0,07	0,07
Σύνολο	0,28	0,23

- Εγκαταστάσεις CSP

Η διαδικασία υπολογισμού του νερού σε αυτήν την κατηγορία διαφοροποιήθηκε, διότι βρέθηκαν δεδομένα για τα συστήματα ψύξης όλων των εγκαταστάσεων solar thermal που λειτούργησαν στην Καλιφόρνια από το 2001 έως το 2017. Κατά τον κύκλο καυσίμου θεωρήθηκε ότι δε χρησιμοποιείται νερό, ενώ κατά τον κύκλο των εγκαταστάσεων οι συντελεστές είναι μικροί, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3-6.

Πίνακας 3-6. Συντελεστές συνολικής απόληξης και επιμέρους κατανάλωσης νερού για τις εγκαταστάσεις CSP.

	Απόληξη νερού(m <sup>3</sup> /MWh)	Κατανάλωση νερού (m <sup>3</sup> /MWh)
	Μέση Τιμή	Μέση Τιμή
Κύκλος Καυσίμου	-	-
Κύκλος Εγκαταστάσεων	0,61	0,61
Κύκλος Λειτουργίας		
Power tower: cooling tower	2,80	3,07
Power tower: dry cooling	0,10	0,10
Trough: cooling tower	3,63	3,37
Trough: dry cooling	0,30	0,30

- Γεωθερμικά εργοστάσια

Για τα γεωθερμικά εργοστάσια ισχύει το ίδιο· λόγω διαθεσιμότητας δεδομένων σχετικά με τα συστήματα ψύξης όλων των εργοστασίων που λειτούργησαν το διάστημα 2001-2017, οι συντελεστές νερού του κύκλου λειτουργίας θεωρήθηκαν ξεχωριστά για κάθε εργοστάσιο. Οι συντελεστές των υπόλοιπων κύκλων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-7.

Πίνακας 3-7. Συντελεστές συνολικής απόληξης και επιμέρους κατανάλωσης νερού για τα γεωθερμικά εργοστάσια.

	Απόληξη νερού(m <sup>3</sup> /MWh)	Κατανάλωση νερού (m <sup>3</sup> /MWh)
	Μέση Τιμή	Μέση Τιμή
Κύκλος Καυσίμου	-	-
Κύκλος Εγκαταστάσεων	0,01	0,01
Κύκλος Λειτουργίας		
Binary: hybrid cooling	1,74	1,74
Binary: dry cooling	1,10	1,10
Flash	0,07	0,04

- Εργοστάσια βιομάζας ή waste-to-energy

Στοιχεία για την απόληψη και κατανάλωση νερού από τα εργοστάσια βιομάζας, όπως αυτά ορίστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο (2.4.1), δε δίνονται ούτε από τους Meldrum et al. (2013) ούτε βρέθηκαν αναλυτικά σε κάποια άλλη βιβλιογραφική αναφορά. Ωστόσο, για το σκοπό της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές απόληξης και κατανάλωσης που δίνει η τεχνική έκθεση του EPRI (Electric Power Research Institute). Στον Πίνακα 3-8 παρατίθενται οι συντελεστές, οι οποίοι προκύπτουν ως μέσοι όροι των αντίστοιχων των τεχνολογιών ψύξης once-through και cooling towers (EPRI, 2002), αφού δε βρέθηκαν συγκεντρωμένα δεδομένα για την τεχνολογία ψύξης που χρησιμοποιεί ή χρησιμοποιούσε στο διάστημα μελέτης το καθένα ξεχωριστά. Να σημειωθεί ότι η έκθεση του EPRI (2002) εκτιμάει συντελεστές που αφορούν μόνο τον κύκλο λειτουργίας.

Πίνακας 3-8. Συντελεστές συνολικής απόληξης και επιμέρους κατανάλωσης νερού για τα εργοστάσια βιομάζας.

	Απόληψη νερού(m <sup>3</sup> /MWh)	Κατανάλωση νερού (m <sup>3</sup> /MWh)
	Μέση Τιμή	Μέση Τιμή
<b>Κύκλος Λειτουργίας</b>		
Once-through Cooling	132,49	1,14
Cooling Towers	2,08	1,82
<b>Μέσος όρος</b>	67,29	1,48

Ολοκληρώνοντας, για τις τέσσερις πρώτες κατηγορίες εργοστασίων που παρουσιάστηκαν παραπάνω καθώς και για τα εργοστάσια βιομάζας η τελική ποσότητα του νερού προέκυψε πολλαπλασιάζοντας την αντίστοιχη παραγωγή ενέργειας από τον Πίνακα 3-1 με τους συνολικούς συντελεστές απόληξης και κατανάλωσης νερού από τους Πίνακες 3-2, 3-3, 3-4 και 3-5, αντιστοίχως. Για τα θερμικά ηλιακά (csp) και τα γεωθερμικά εργοστάσια, για τα οποία διατίθενται δεδομένα ψύξης, οι τελικές ποσότητες προέκυψαν πολλαπλασιάζοντας την αντίστοιχη παραγωγή ενέργειας από τον Πίνακα 3-1, αρχικά, με τους συντελεστές του κύκλου εγκαταστάσεων, έπειτα, με τους αντίστοιχους ανάλογα με τον τύπο ψύξης και τέλος, προσθέτοντας τα δύο αυτά ποσά.

- Μεγάλα και μικρά υδροηλεκτρικά

Όσον αφορά τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια, οι υπολογισμοί που έλαβαν χώρα ήταν ιδιαίτερα αναλυτικοί και προέκυψαν μετά από συνδυασμό εκτεταμένης βιβλιογραφικής έρευνας και επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων. Αρχικά, πρέπει να σημειωθεί ότι η βιβλιογραφία διαθέτει ελάχιστες πηγές που να ασχολούνται, αμιγώς, με τον υπολογισμό του νερού που χρησιμοποιείται για υδροηλεκτρική παραγωγή. Η διερεύνηση της ποσότητας αυτής παρουσιάζει ορισμένες δυσκολίες, όπως για παράδειγμα, ότι στους ταμιευτήρες πολλαπλών χρήσεων (αντιπλημμυρικής προστασίας, αναψυχής, υδροηλεκτρικής παραγωγής κ.ά.) ο διαχωρισμός μεταξύ των χρήσεων δεν είναι σαφής. Η διαδικασία δυσκολεύει, όταν σε κάθε μία από αυτές τις χρήσεις πρέπει να υποτεθεί με επιστημονικούς όρους και κριτήρια ότι αναλογεί συγκεκριμένο ποσοστό νερού από το συνολικά χρησιμοποιούμενο από τον ταμιευτήρα, για την επίτευξη του σκοπού που έχει να επιτελέσει καθέκαστη.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας των υδροηλεκτρικών εργοστασίων, αφενός υπάρχει εκμετάλλευση νερού τη στιγμή που αυτό διέρχεται από τις τουρμπίνες, ποσότητα η οποία δεν καταναλώνεται (μη καταναλισκόμενη χρήση ή non-consumptive use), αντίθετα, επιστρέφει στη ροή του ποταμού κατόπιν του φράγματος ή καταλήγει σε επόμενο ταμιευτήρα στην περίπτωση φραγμάτων σε σειρά. Αφετέρου, όταν τα υδροηλεκτρικά συνοδεύονται από ταμιευτήρες και δεν είναι απλά τοποθετημένα επάνω στην πραγματική ροή του ποταμού, παρατηρούνται μεγάλες ποσότητες εξάτμισης νερού από

την επιφάνεια του ταμιευτήρα και άλλες ποσότητες που διαφεύγουν υπόγεια. Στις δύο τελευταίες περιπτώσεις το νερό χάνεται, απομακρύνεται, δηλαδή, από τη λεκάνη από την οποία δεσμεύτηκε εξ' αρχής και είτε καταλήγει στην ατμόσφαιρα με τη μορφή υδρατμών είτε διαρρέει στο υπέδαφος (καταναλισκόμενη-έμμεση χρήση ή *consumptive use*).

Οι περισσότεροι μελετητές ασχολούνται με την ποσότητα εξάτμισης του νερού από τους ταμιευτήρες. Είναι προφανές, ότι το φαινόμενο της εξάτμισης επηρεάζεται πολύ από τις τοπικές κλιματικές και γεωλογικές συνθήκες. Σε πολλά, όμως, επιστημονικά άρθρα διαπιστώθηκε ότι παρατίθενται συντελεστές εξάτμισης ανά παραγόμενη ενέργεια σε εθνικό ή ακόμη και παγκόσμιο επίπεδο. Οι Mekonnen & Hoekstra (2012) εκτιμούν ένα συντελεστή εξάτμισης για 35 επιλεγμένα φράγματα σε Λατινική Αμερική, Καναδά, Αφρική και Ασία. Οι Lampert et al. (2016), από την άλλη, εκτιμούν την καθαρή εξάτμιση του νερού, δηλαδή την εξάτμιση από τον ταμιευτήρα μείον την εξάτμιση ή την εξατμισοδιαπνοή που θα συνέβαινε ούτως ή άλλως, χωρίς τη δημιουργία του ταμιευτήρα. Αυτό το πετυχαίνουν λαμβάνοντας συντελεστές εξάτμισης και για τις 48 πολιτείες τις Αμερικής από διάφορους σταθμούς και στη συνέχεια, υπολογίζοντας την εξάτμιση που θα συνέβαινε φυσικά, χωρίς την ύπαρξη του φράγματος. Εφαρμόζοντας αυτούς τους συντελεστές σε πάρα πολλά φράγματα των Η.Π.Α. για το έτος 2010, συμπεριλαμβανομένων 124 στην Καλιφόρνια, στο τέλος υπολογίζουν έναν μέσο συντελεστή εξάτμισης νερού ανά παραγόμενη ενέργεια, ίσο περίπου με  $0,04 \text{ m}^3/\text{kWh}$ . Επιπλέον, διανέμουν την κατανάλωση νερού με αυθαίρετα ποσοστά στις διάφορες χρήσεις που επιτελούν οι ταμιευτήρες πολλαπλών χρήσεων της λίστας τους. Επιπρόσθετα, άλλες μελέτες παραθέτουν μαζί με άλλους υπολογισμούς χρήσης νερού για παραγωγή ενέργειας (θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, βιοκαύσιμα κ.λπ.) και χονδροειδείς συντελεστές εξάτμισης από τα υδροηλεκτρικά (Gerbens-Leenes et al., 2009; Macknick et al., 2011; Torcellini et al., 2004).

Για τη συγκεκριμένη εργασία, όμως, χρησιμοποιήθηκε μια παλαιότερη πηγή, στην οποία μετά από μελέτη περίπου εκατό φραγμάτων στην Καλιφόρνια το 1990, υπολογίζονται συντελεστές τόσο εξάτμισης όσο και υπόγειων διαφυγών, διαφορετικοί για σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη ή μικρότερη των 25 MW (Gleick, 1994). Με τη χρήση αυτών των συντελεστών όλο το νερό αποδίδεται στην υδροηλεκτρική παραγωγή, ακόμη και στους ταμιευτήρες πολλαπλών χρήσεων. Παρά το γεγονός ότι δεν είναι πρόσφατη, επιλέχθηκε η συγκεκριμένη πηγή πληροφορίας για τρεις λόγους: α) το 1990 η υδροηλεκτρική παραγωγή στην Καλιφόρνια ήταν ήδη εξαιρετικά αναπτυγμένη και μάλιστα, τα φράγματα που κατασκευάστηκαν από εκείνη τη χρονολογία και έπειτα ήταν μόνο 10, σύμφωνα με στοιχεία της CEC β) ο Gleick (1994) παρουσιάζει μία μελέτη αφιερωμένη εξολοκλήρου στην περιοχή της Καλιφόρνιας. Παρόλο που ακόμη και η ανάλυση σε επίπεδο πολιτείας δεν είναι ιδιαίτερα λεπτομερής όταν πρόκειται για συνθήκες εξάτμισης ή διαρροών σε διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς, η συγκεκριμένη μελέτη κρίθηκε η καταλληλότερη από όσες βρέθηκαν στη βιβλιογραφία με αντίστοιχη κλίμακα ανάλυσης γ) παρατηρήθηκε, ότι πολλές από τις μετέπειτα μελέτες που εντοπίστηκαν πάνω στο ίδιο θέμα χρησιμοποιούν για τους υπολογισμούς τους τα ίδια στοιχεία που παραθέτει ο Gleick (1994).

Αυτό που δεν περιλαμβάνει, όμως, η προαναφερθείσα πηγή είναι κάποια εκτίμηση σχετικά με το νερό που διέρχεται μέσα από τις τουρμπίνες των υδροηλεκτρικών, οι οποίες ενεργοποιούν τις γεννήτριες, για να παράξουν ηλεκτρική ενέργεια. Η μοναδική πηγή σχετικής πληροφορίας που βρέθηκε ήταν η Επιστημονική Υπηρεσία Γεωλογικών Ερευνών των Η.Π.Α. (USGS, 1995). Σε αυτήν την έκθεση εκτιμάται η ποσότητα του νερού (*non-consumptive use*) που απαιτήθηκε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 1995 στην Καλιφόρνια. Ωστόσο, το συγκεκριμένο δεδομένο διαθέτει δύο μειονεκτήματα: α) πέραν της χρονολογίας του που όπως προαναφέρθηκε δεν επηρεάζει στην ουσία στατιστικά το αποτέλεσμα, στην ενέργεια που παράχθηκε εκείνο το έτος συνυπολογίζονται και οι εισαγωγές της πολιτείας, με αποτέλεσμα να γνωρίζουμε ότι ο συντελεστής αυτός είναι υπερεκτιμημένος β) στο δαιδαλώδες υδραυλικό σύστημα που έχει κατασκευάσει η πολιτεία της Καλιφόρνιας πολλά, αν όχι τα περισσότερα από τα φράγματά της, είναι τοποθετημένα

σε σειρά και σύμφωνα με το (USGS, 1995), είναι πιθανό η ποσότητα του νερού που υπολογίζεται ότι διατίθεται για υδροηλεκτρική παραγωγή να είναι μεγαλύτερη από την ετήσια απορροή.

Στο κομμάτι των υπολογισμών, τώρα, συγκεντρώθηκαν λίστες με την εγκατεστημένη ισχύ και την ηλεκτρική παραγωγή όλων των υδροηλεκτρικών εργοστασίων της Καλιφόρνιας από το 2001 έως το 2017 (California Energy Commission-c). Από αυτή τη λίστα εξαιρέθηκαν οι σταθμοί αντλησοταμίευσης, καθώς σε αυτήν την περίπτωση είναι πολύ δύσκολη η εκτίμηση της πραγματικής ποσότητας νερού που χρησιμοποιείται ή καταναλώνεται. Επίσης, δε συνυπολογίσθηκαν απώλειες εξάτμισης και υπόγειων διαφυγών για τα υδροηλεκτρικά run-of-the-river, όπως ονομάζονται, αφού στην πλειοψηφία τους δε διαθέτουν ταμιευτήρες και όταν διαθέτουν, ο όγκος της αποθηκευτικότητάς τους είναι, συνήθως, ικανός να συγκρατήσει νερό μίας μόνο ημέρας (Donev et al., 2018). Πολλαπλασιάζοντας την ετήσια παραγωγή του κάθε σταθμού με τον κατάλληλο συντελεστή ανάλογα με την εγκατεστημένη ισχύ του (Πίνακας 3-9), καταλήξαμε στην τελική ποσότητα συνολικής χρήσης αλλά και στο τμήμα αυτής που καταναλώθηκε από τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια της Καλιφόρνιας για το διάστημα 2001-2017.

Πίνακας 3-9. Συντελεστές συνολικής απαίτησης και επιμέρους κατανάλωσης νερού από τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια.

	>25 MW	<25 MW
	Μέση Τιμή (m <sup>3</sup> /kWh)	Μέση Τιμή (m <sup>3</sup> /kWh)
<b>Καταναλισκόμενη Χρήση Νερού</b>		
Απώλειες Εξάτμισης	0,0025	0,0144
Απώλειες Υπόγειων Διαφυγών	0,0011	0,004
<b>Μη-καταναλισκόμενη Χρήση Νερού</b>	4,295	4,295

## II. Κατανάλωση νερού για εξεύρεση, εξόρυξη, επεξεργασία, ανάκτηση και διύλιση πετρελαίου

Σε γενικές γραμμές, η παραγωγή πετρελαίου στην Καλιφόρνια έχει ελαττωθεί τα τελευταία 30 χρόνια. Παρ' όλ' αυτά, παραμένει στις κορυφαίες παραγωγούς πολιτείες της Αμερικής (California Energy Commission-e). Για τον υπολογισμό, λοιπόν, του απαιτούμενου νερού σε όλον τον κύκλο ζωής του πετρελαίου και των προϊόντων του χρησιμοποιήθηκαν και σε αυτήν την περίπτωση συντελεστές από τον Gleick (1994), οι οποίοι φαίνονται στον Πίνακα 3-10 και αντιπροσωπεύουν κατανάλωση νερού. Στο στάδιο της εξερεύνησης χρησιμοποιούνται αμελητέες ποσότητες, γι' αυτό και παραλείφθηκε, ενώ η εξόρυξη, παρόλο που χρησιμοποιεί, επίσης, πολύ μικρή ποσότητα νερού συμπεριλήφθηκε στον παρακάτω πίνακα. Σημειώνεται, ότι η μονάδα μέτρησης barrel του πετρελαίου δε μετατράπηκε στην αντίστοιχη του διεθνούς συστήματος S.I. για λόγους διευκόλυνσης, αφού και τα δεδομένα της CEC για τις ποσότητες διύλισης αλλά και ο συντελεστής κατανάλωσης νερού δίνονταν σε αυτή.



Πίνακας 3-10. Συντελεστές κατανάλωσης νερού σε όλον τον κύκλο ζωής του πετρελαίου.

	Κατανάλωση νερού (m <sup>3</sup> /barrel)
	Μέση Τιμή
<b>Στάδιο Εξόρυξης και Παραγωγής</b>	0,03
<b>Στάδιο Ανάκτησης</b>	
EOR (Thermal Steam Injection)	0,85
Water Flooding	3,62
<b>Στάδιο Διύλισης</b>	
Traditional Refining	0,27
Reforming and Hydrogenation	0,54
<b>Άλλες λειτουργίες του εργοστασίου</b>	0,42

Το αργό πετρέλαιο της Καλιφόρνιας είναι ιδιαίτερα «βαρύ», πράγμα που σημαίνει ότι διαθέτει μεγάλο ιξώδες. Γι' αυτό το λόγο, ενδείκνυται η ενισχυμένη ανάκτηση. Ωστόσο, ο τρόπος ανάκτησης του πετρελαίου (oil recovery) με water flooding χρησιμοποιούνταν πολλά χρόνια και χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα ευρέως στην πολιτεία. Για τους υπολογισμούς θεωρήθηκε ότι 50% του πετρελαίου που εισέρχεται στα διυλιστήρια της πολιτείας κάθε χρόνο έχει ανακτηθεί με water flooding και το υπόλοιπο 50% με ενισχυμένες θερμικές μεθόδους (EOR), οπότε η ποσότητα αυτή κάθε έτους πολλαπλασιάστηκε με τους αντίστοιχους συντελεστές καθώς και με το συντελεστή του σταδίου της εξόρυξης και των άλλων λειτουργιών. Επιπλέον, θεωρήθηκε ότι 50% των προϊόντων του πετρελαίου που παράγονται από το σύνολο των διυλιστηρίων της Καλιφόρνιας επιδέχονται πιο εξιδεικευμένη διύλιση και 50% αυτών επιδέχονται παραδοσιακές μεθόδους στο ίδιο στάδιο. Και αυτές οι ποσότητες πολλαπλασιάστηκαν με τη σειρά τους με τους αντίστοιχους συντελεστές, όπως επίσης, με το συντελεστή για τις λοιπές λειτουργίες του εργοστασίου. Προσθέτοντας όλα τα παραπάνω m<sup>3</sup> προέκυψε η συνολική ποσότητα κατανάλωσης νερού για την παραγωγή του πετρελαίου και των προϊόντων του στο διάστημα 2001-2017 στην Καλιφόρνια.

### 3.2.2 Ενέργεια για νερό

Σε προηγούμενο κεφάλαιο (1.4.2) έχει αναφερθεί, ότι σε όλα τα στάδια (απόληψη, διανομή και χρήση, επεξεργασία) του νερού απαιτείται ενέργεια. Αρχικά, το νερό είτε εκτρέπεται από επιφανειακούς υδροφορείς είτε αντλείται από υπόγειους και συλλέγεται. Στη συνέχεια, μεταφέρεται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας και μετέπειτα, διανέμεται στους τελικούς χρήστες. Ό,τι συμβαίνει, κατόπιν, στο νερό εξαρτάται, κυρίως, από το αν η χρήση είναι αστική ή γεωργική. Από τη μία πλευρά, τα αστικά λύματα συλλέγονται, επεξεργάζονται και επανατροφοδοτούνται στο περιβάλλον, όπου είναι και πάλι διαθέσιμα για χρήση από κάποιον άλλον ή και τον ίδιο τελικό χρήστη. Από την άλλη πλευρά, τα γεωργικά υγρά απόβλητα, εν γένει, δεν επιδέχονται επεξεργασία πριν την επαναδιάθεσή τους είτε στο υπέδαφος και κατ' επέκταση, στους υπόγειους υδροφορείς είτε ως απορροή στα φυσικά ποτάμια. Συνοψίζοντας, λοιπόν, για τη συγκεκριμένη εργασία θεωρήθηκε ως πρώτο στάδιο η απόληψη και αρχική επεξεργασία του νερού-στάδιο απόληψης, ως δεύτερο η διανομή του νερού στους χρήστες της κοινωνίας-στάδιο τελικής χρήσης- και ως τρίτο στάδιο η συλλογή του νερού μετά τη χρήση του και η επεξεργασία του-στάδιο ανακύκλωσης.

Αναλύοντας τα παραπάνω στάδια καθίσταται σαφές, πως είναι ιδιαίτερα δύσκολο να παρακολουθηθεί με ακρίβεια το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται σε όλα αυτά. Σημειώνεται, ότι η χρήση ενέργειας σε αυτήν την αλληλεπίδραση ταυτίζεται με κατανάλωση. Σύμφωνα με τους Klein & Krebs (2005), οι πληροφορίες σχετικά με αυτή τη μέτρηση που παρέχουν οι υπηρεσίες διανομής και επεξεργασίας νερού είναι, σε γενικές γραμμές, αρκετά αξιόπιστες. Αντίθετα, η

κατανάλωση της ενέργειας από τους ίδιους τους χρήστες του νερού είναι δυσκολότερο να υπολογιστεί, καθώς τα μηχανήματα μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου δε διαθέτουν ξεχωριστή μέτρηση για την κατανάλωση η οποία είναι σχετική με το νερό.

Η πιο πρόσφατη διαθέσιμη πληροφορία σχετικά με το συγκεκριμένο ζήτημα δίνεται από τους Klein & Krebs (2005) και υπολογίστηκε για το έτος 2001. Η συγκεκριμένη έκθεση συντάχθηκε από μέλη της CEC και ενώ υπήρξε αναθεώρησή της το 2006 (PIER, 2006), οι διαφορές των τελικών αποτελεσμάτων μεταξύ της αρχικής και της αναθεωρημένης εκδοχής είναι σχεδόν ανύπαρκτες και δε θα απασχολήσουν σε αυτήν την εργασία. Σύμφωνα, λοιπόν, με την προαναφερθείσα πηγή, το 2001 από τη συνολική ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε στην πολιτεία το 19% αφορούσε διεργασίες σχετικές με το νερό, όπως επίσης, το ίδιο συνέβη και με το 32% του συνολικά καταναλισκόμενου φυσικού αερίου. Σε αυτές τις ποσότητες περιλαμβάνεται μόνο η κατανάλωση ενέργειας για παροχή νερού το οποίο εφαρμόστηκε στα φυτά. Την εποχή σύνταξης της έκθεσης δε συνυπολογίστηκε η ενέργεια για την εξασφάλιση νερού για την κτηνοτροφία ούτε για την πραγματοποίηση κάποιων επεξεργασιών της τροφής οι οποίες λαμβάνουν χώρα πριν το εμπορικό στάδιο. Στη μελέτη τους αυτή οι Klein & Krebs (2005) υπολόγισαν τα ποσοστά αυτά εκτιμώντας και αθροίζοντας ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε ένα από τα τρία στάδια του νερού και μάλιστα, σε κάθε στάδιο κατένειμαν την ενέργεια σε διάφορους χρήστες, όπως η γεωργία, οι πόλεις, η βιομηχανία κ.ά. Στους Πίνακες 3-11 και 3-12 φαίνονται τα ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας του κάθε τελικού χρήστη σε κάθε στάδιο ως προς το σύνολο της ενέργειας που καταναλώθηκε για το νερό το 2001.

Λόγω έλλειψης ετήσιων ή έστω πιο πρόσφατων δεδομένων για την κατανάλωση ενέργειας από τον τομέα του νερού, στα πλαίσια της συγκεκριμένης ανάλυσης, τα συνολικά ποσοστά (19% και 32%), που αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο, θεωρήθηκαν σταθερά για κάθε έτος του διαστήματος 2001-2017. Με βάση αυτά και τις συνολικές ποσότητες κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου, οι οποίες παρέχονται από τη CEC, πραγματοποιήθηκαν οι υπολογισμοί. Στους παραπάνω υπολογισμούς προστέθηκε και μια ποσότητα ντίζελ, η οποία υπολογίστηκε από τους Klein & Krebs (2005) ότι καταναλώθηκε το 2001 για άντληση αρδευτικού νερού. Τέλος, οι ποσότητες φυσικού αερίου και ντίζελ μετατράπηκαν στο ηλεκτρικό τους ισοδύναμο, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές μετατροπής (2,66 kWh/m<sup>3</sup> και 14,15 kWh/gal, αντίστοιχα) που προτείνουν οι Kranz et al. (2010), με στόχο οι προκύπτουσες ποσότητες να είναι συγκρίσιμες. Με την πραγματοποίηση όλων αυτών των βημάτων προέκυψε η συνολική κατανάλωση ενέργειας εξαιτίας αυτής της αλληλεπίδρασης.

Πίνακας 3-11. Ποσοστιαία κατανομή της καταναλισκόμενης ενέργειας από τον τομέα του νερού σε κάθε στάδιο του στην Καλιφόρνια.

<b>Στάδιο Απόληψης</b>	<b>23%</b>
Γεωργία	7%
Πόλεις	16%
<b>Στάδιο Τελικής Χρήσης</b>	<b>73%</b>
Γεωργική Χρήση	15%
<b>Αστική Χρήση</b>	<b>58%</b>
Κατοικίες	28%
Επιχειρήσεις/Δημόσιες Υπηρεσίες/Δημόσιοι Χώροι	17%
Βιομηχανία	13%
<b>Στάδιο Ανακύκλωσης</b>	<b>4%</b>

Πίνακας 3-12. Ποσοστιαία κατανομή του καταναλισκόμενου φυσικού αερίου από τον τομέα του νερού σε κάθε στάδιο του στην Καλιφόρνια.

<b>Στάδιο Απόληψης</b>		<b>0%</b>
	Γεωργία	0%
	Πόλεις	0%
<b>Στάδιο Τελικής Χρήσης</b>		<b>99%</b>
	<b>Γεωργική Χρήση</b>	0%
	<b>Αστική Χρήση</b>	<b>99%</b>
	Κατοικίες	48%
<b>Επιχειρήσεις/Δημόσιες Υπηρεσίες/Δημόσιοι Χώροι</b>		6%
	Βιομηχανία	45%
<b>Στάδιο Ανακύκλωσης</b>		<b>1%</b>

Εκτός όμως από τα παραπάνω στάδια του νερού, μία κατηγορία που δεν αναφέρεται από τους Klein & Krebs (2005) είναι η αφαλάτωση. Στην έκθεση του DWR-Natural Resources Agency (2013a) παρουσιάζεται συνοπτικά το νερό που παράχθηκε το 2010 στην Καλιφόρνια από σταθμούς αφαλάτωσης είτε αλμυρού/θαλασσινού είτε υφάλμυρου/υπόγειου νερού (Πίνακας 3-13). Οι συντελεστές κατανάλωσης ενέργειας για κάθε κυβικό μέτρο νερού που παράγεται από τις δύο τεχνολογίες αφαλάτωσης συλλέχθηκαν από διαφορετική πηγή, δηλαδή από τον Pinzon (2013). Είναι φανερό από τον Πίνακα 3-13, ότι η αφαλάτωση θαλασσινού νερού, που είναι και η ενεργειακά απαιτητικότερη, το 2010 ήταν πολύ λιγότερο αναπτυγμένη σε σχέση με την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού. Σύμφωνα, όμως, και πάλι με το DWR-Natural Resources Agency (2013a), έχουν προταθεί αρκετά νέα εργοστάσια αφαλάτωσης ωκεάνιου νερού, τα οποία μένει να φανεί αν και τότε θα κατασκευαστούν και κατά πόσο με τη συμβολή τους η Καλιφόρνια θα μπορέσει να βελτιώσει ακόμη περισσότερο την άνιση χωρικά κατανομή των υδατικών της πόρων. Πολλαπλασιάζοντας, λοιπόν, τους συντελεστές αυτούς με τις παραπάνω ποσότητες νερού προέκυψε η συνολική κατανάλωση ενέργειας για αφαλάτωση στην πολιτεία το 2010 (Πίνακας 3-13).

Πίνακας 3-13. Συντελεστές κατανάλωσης ενέργειας για αφαλάτωση στην Καλιφόρνια το 2010.

Είδος νερού	Παραγωγή νερού από το σταθμό αφαλάτωσης το 2010 (hm <sup>3</sup> )	Συντελεστής Κατανάλωσης Ενέργειας (kWh/m <sup>3</sup> )
Υφάλμυρο υπόγειο νερό	98.446.653	1
Θαλασσινό νερό	160.353	3,5
<b>Σύνολο</b>	<b>98.607.005</b>	

### 3.2.3 Νερό για τροφή

Στη δεδομένη αλληλεπίδραση τα επίσημα δεδομένα δίνονται απευθείας από το Water Plan Update (2013), αλλά περιορίζονται στο διάστημα 2001-2010. Παρ' όλ' αυτά, το διαδραστικό εργαλείο «Water Supply and Balance Data Interface», το οποίο έχει αναπτύξει το ίδιο το DWR σε περιβάλλον Microsoft Excel, δίνει τη δυνατότητα τόσο στο προσωπικό του όσο και στο κοινό να έχει πρόσβαση σε ιστορικά δεδομένα παροχής και κατανάλωσης νερού, τα οποία δημοσιεύονται από διάφορους φορείς σε επίσημες εκθέσεις (Water Portfolio sets). Το εργαλείο αυτό, κατασκευασμένο να λειτουργεί επικουρικά ως προς τα Water Plan Updates, προσφέρει επιπλέον δεδομένα για τα έτη 2011-2015.

Ακόμη και με την παραπάνω επέκταση των δεδομένων, όμως, δεν ήταν δυνατή η εύρεση πληροφοριών για τα δύο τελευταία έτη (2016 και 2017) της επιλεγμένης περιόδου ανάλυσης.

#### 3.2.4 Τροφή για νερό

Η συγκεκριμένη αλληλεπίδραση του WEFN ταυτίζεται με το «εικονικό νερό» που εισάγει η Καλιφόρνια μαζί με τις εισαγωγές τροφίμων. Όμως, εξαιτίας της αδυναμίας εύρεσης δεδομένων σχετικά με τις ποσότητες κάθε τρόφιμου προϊόντος που εισάγεται και καταναλώνεται ετησίως στην πολιτεία, επιδιώχθηκε, εναλλακτικά, η συλλογή στοιχείων για το «υδατικό της αποτύπωμα» (water footprint). Το «υδατικό αποτύπωμα» ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας ορίζεται ως ο όγκος νερού που χρησιμοποιείται για την παραγωγή αυτού του προϊόντος ή της υπηρεσίας στην περιοχή που παράχθηκε και όχι στην περιοχή που καταναλώθηκε (Chapagain & Hoekstra, 2004). Το περισσότερο από αυτό το νερό δεν εμπεριέχεται στο ίδιο το προϊόν. Γενικά, το πραγματικό υδατικό περιεχόμενο των προϊόντων είναι αμελητέο συγκριτικά με το «υδατικό αποτύπωμά» τους.

Η συντριπτική πλειοψηφία των τροφίμων που εισάγει η Καλιφόρνια προέρχονται από άλλες περιοχές της Αμερικής και είναι, κυρίως, κρέας ή προϊόντα κρέατος και σπόροι δημητριακών, οι οποίοι, στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται από την εγχώρια βιομηχανία κρέατος και γαλακτοκομικών (Fulton et al., 2012). Εξωτικά φρούτα (π.χ. μπανάνες) και προϊόντα όπως ζάχαρη, κακάο, καφές και μπαχαρικά αποτελούν τις κυριότερες εισαγωγές τροφής από διεθνείς αγορές, ενώ επίσης, κρέας, γαλακτοκομικά προϊόντα, ρύζι, ελιές ή λάδι, αβοκάντο, σιτάρι και σταφύλια εισέρχονται σε μεγάλες ποσότητες (Fulton et al., 2012). Όταν γίνεται λόγος, όμως, για καθαρές εισαγωγές γεωργικών προϊόντων, δηλαδή, την ποσότητα εισαγωγών μείον την ποσότητα εξαγωγών, τότε η Καλιφόρνια θεωρείται εισαγωγέας καλλιεργειών και εξαγωγέας ζώων ή προϊόντων αυτών (Mubako & Lant, 2013).

Το «υδατικό αποτύπωμα» των γεωργικών προϊόντων ή τροφίμων που παράγονται εκτός της πολιτείας αλλά εισάγονται και καταναλώνονται εντός αυτής ονομάζεται διαφορετικά και εξωτερικό, γεωργικό «υδατικό αποτύπωμα» (external agricultural water footprint) (Chapagain & Hoekstra, 2004). Πληροφορίες σχετικά με αυτό συλλέχθηκαν από τους (Fulton et al., 2012) και παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο. Σε αυτό το σημείο πρέπει να διευκρινιστεί η αναπόφευκτη αναντιστοιχία σε σχέση με την αλληλεπίδραση νερό για τροφή, στην οποία δε συμπεριλήφθηκε ο κτηνοτροφικός τομέας και τα προϊόντα του.

#### 3.2.5 Ενέργεια για τροφή

Προς επιβεβαίωση της μεγάλης επιρροής που έχει ο τομέας της ενέργειας στην παραγωγή της τροφής, όπως αναφέρθηκε συνοπτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο (1.4.5), υπολογίσθηκαν τα ποσά ενέργειας που καταναλώνει ο γεωργικός τομέας της Καλιφόρνιας α) για την άντληση και μεταφορά του αρδευτικού νερού β) για την παραγωγή, τη συσκευασία, τη μεταφορά και την εφαρμογή των λιπασμάτων γ) για την παραγωγή, τη μορφοποίηση, τη συσκευασία, τη μεταφορά και τη διανομή των φυτοφάρμακων και δ) για τη λειτουργία των γεωργικών μηχανημάτων και οχημάτων στα στάδια φύτευσης και συγκομιδής μιας καλλιέργειας.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τους υπολογισμούς κατανάλωσης ενέργειας για καθεμία από τις παραπάνω τέσσερις περιπτώσεις παρουσιάζεται κατ' αντιστοιχία παρακάτω:

α) Η κατηγορία αυτή ταυτίζεται με την κατανάλωση ενέργειας για νερό από τον τομέα της γεωργίας, όπως αυτή παρουσιάσθηκε παραπάνω (3.2.2). Για λόγους πληρότητας πρέπει να σημειωθεί ξανά ότι σε αυτή συμπεριλαμβάνεται μόνο η κατανάλωση ενέργειας για παροχή νερού, το οποίο εφαρμόζεται στα φυτά. Όσον αφορά τα διαθέσιμα δεδομένα, αρχικά, οι Burt et al. (2003) υπολόγισαν την απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας για την παροχή αρδευτικού νερού μέσω διάφορων τρόπων (π.χ. διανομή επιφανειακού νερού σε κάποια Αρδευτική Περιφέρεια (Irrigation District) ή επί-τόπου άντληση υπόγειου νερού) χρησιμοποιώντας τις ζώνες εξαμυσοδιαπνοής του DWR, οι οποίες

καλύπτουν ολόκληρη την πολιτεία. Οι υπολογισμοί αυτοί αφορούν ένα μέσο υδρολογικό έτος, όπως αναφέρουν οι συγγραφείς. Την παραπάνω πληροφορία χρησιμοποίησαν στη συνέχεια οι Klein & Krebs (2005) στην έκθεσή τους με θέμα την αλληλεπίδραση νερού-ενέργειας και την εμπλούτισαν με την καταναλισκόμενη ποσότητα νιζελ για άντληση νερού από τον τομέα της γεωργίας το 2001. Δυστυχώς, ούτε σε αυτήν την περίπτωση βρέθηκαν ετήσια δεδομένα για τα έτη 2001-2017 ή έστω πιο πρόσφατα. Θεωρήθηκαν και εδώ τα ποσοστά κατανάλωσης νερού από τον τομέα της γεωργίας, όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω στον Πίνακα 3-11. Τα βήματα της διαδικασίας των υπολογισμών είναι ίδια με αυτά της ενότητας 3.2.2, μόνο που στην παρούσα αλληλεπίδραση δεν υπάρχει κατανάλωση φυσικού αερίου.

β) Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή, συσκευασία, μεταφορά και εφαρμογή λιπασμάτων στα αγροκτήματα της Καλιφόρνιας χρειάστηκαν αφενός οι ποσότητες που χρησιμοποιήθηκαν κάθε χρόνο στο διάστημα της ανάλυσης και αφετέρου ορισμένοι συντελεστές οι οποίοι να αποδίδουν την ενσωματωμένη ενέργεια σε κάθε είδος λιπάσματος. Οι συντελεστές αυτοί δίνονται από τον Hessel (1992) σε GJ/ton θρεπτικού ή nutrient (άζωτο-N, φωσφορικό άλας-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> και ποτάσα-K<sub>2</sub>O) που εμπεριέχεται στο κάθε εμπορικό λίπασμα και παρουσιάζονται μετετρεμμένοι σε MWh/ton στον Πίνακα 3-14.

Πίνακας 3-14. Συντελεστές κατανάλωσης ενέργειας για όλον τον κύκλο ζωής των λιπασμάτων ανάλογα με το περιεχόμενο τους σε θρεπτικά (nutrients).

Θρεπτικό	Παραγωγή	Συσκευασία	Μεταφορά	Εφαρμογή	Σύνολο
N	19,3	0,7	1,3	0,4	21,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,1	0,7	1,6	0,4	4,8
K <sub>2</sub> O	1,8	0,5	1,3	0,3	3,8

Επιπρόσθετα, το CDFR παρέχει ετήσιες αναφορές σχετικά με το θρεπτικό περιεχόμενο (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> και K<sub>2</sub>O) που καταναλώνεται στην πολιτεία από τη χρήση λιπασμάτων (CDFR, 2001, 2002, 2011, 2012, 2013b, 2014c, 2015b, 2016c, 2017c, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010). Έτσι, πολλαπλασιάζοντας για κάθε χρονιά από το 2001 έως το 2017 τα παραπάνω ποσά με τους αντίστοιχους συντελεστές του Πίνακα 3-14 προέκυψε η συνολική, ετήσια κατανάλωση ενέργειας από τη χρήση λιπασμάτων σε αυτό το διάστημα.

γ) Τα φυτοφάρμακα απαιτούν και αυτά ενέργεια καθ' όλο τον κύκλο ζωής τους, από την παραγωγή ή μορφοποίηση που επιδέχονται πολλά από αυτά, στη συσκευασία τους, στη μεταφορά τους στους εμπόρους και τέλος, στη διανομή τους στους αγρότες. Όσον αφορά τους αναγκαίους για τους υπολογισμούς συντελεστές ενσωματωμένης ενέργειας στα φυτοφάρμακα, δίνονται κάποιοι από τον Hessel (1992) για συγκεκριμένα εμπορικά ζιζανιοκτόνα, μυκητοκτόνα και εντομοκτόνα (Πίνακας 3-15). Ο Πίνακας 3-16 παρουσιάζει ποσότητες χρήσεις φυτοφαρμάκων κατά τη διάρκεια διάφορων σταδίων της γεωργικής παραγωγής για τα έτη 2001-2016, καθώς δε βρέθηκαν στοιχεία αντίστοιχων ποσοτήτων για το 2017. Όπως ήταν αναμενόμενο, στο στάδιο της φύτευσης και ανάπτυξης των φυτών (γεωργική καλλιέργεια ή production agriculture) χρησιμοποιείται η συντριπτική πλειοψηφία των φυτοφαρμάκων. Οι υπόλοιπες γεωργικές δραστηριότητες της αλυσίδας παραγωγής, όπως παρουσιάζονται από την Υπηρεσία Ρύθμισης Φυτοφαρμάκων της Καλιφόρνιας (California Department of Pesticide regulation) απαιτούν πολύ λιγότερες ποσότητες.

Θεωρώντας το μέσο όρο των ποσοτήτων της τελευταίας στήλης του Πίνακα 3-15, μετατρέποντάς τον σε kWh/ton και πολλαπλασιάζοντάς τον με την τελευταία στήλη του Πίνακα 3-16, προέκυψε η συνολική, ετήσια κατανάλωση ενέργειας από τη χρήση φυτοφαρμάκων για το διάστημα 2001-2016.

Πίνακας 3-15. Ενσωματωμένη ενέργεια σε διάφορα εμπορικά ζιζανιοκτόνα, μυκητοκτόνα και εντομοκτόνα.

Pesticide	Indirect			Direct			Total
	Naphtha	Natural gas	Coke	Fuel oil	Electricity	Steam	
<b>Herbicides</b>							
MCPA	53.5	12.0		12.6	27.5	22.3	130
2,4-D	39.0			9.0	23.0	16.0	85
2,4,5-T	43.0	23.0		2.0	42.0	25.0	135
Dicamba	69.0	73.0		4.0	96.0	53.0	295
Chloramben	92.0	29.0		5.0	44.0		170
Fluazifop-butyl	89.2	71.6		8.6	183.4	165.2	518
Propanil	62.0	40.0		3.0	64.0	51.0	220
Alachlor	98.6	27.8		12.1	86.4	52.6	278
Propachlor	107.0	29.0		14.0	84.0	56.0	290
Chlorsulfuron	91.3	35.6		7.8	112.2	118.5	365
Butylate	42.1	33.2	11.6	6.8	31.0	16.1	141
Diuron	92.3	63.1		5.2	85.6	28.3	270
Fluometuron	118.6	72.1		8.7	98.5	56.7	355
Atrazine	43.2	68.8		14.4	37.2	24.7	190
Dinoseb	49.0	9.0		11.0	3.0	8.0	80
Trifluralin	56.4	12.8		7.9	57.7	16.1	150
Diquat	70.0	65.0		1.0	100.0	164.0	400
Paraquat	76.1	68.4		4.0	141.6	169.3	460
Glyphosate	33.0	93.0		1.0	227.0	100.0	454
Linuron	96.5	68.1		6.6	88.4	30.1	290
Cyanazine	54.6	65.8		15.2	38.6	26.8	201
Bentazon	128.6	66.1		42.3	118.5	78.1	434
EPTC	16.5	39.6		8.9	66.7	28.1	160
Metolachlor	101.2	27.6		15.1	78.2	53.7	276
<b>Fungicides</b>							
Ferbam		42.0	3.0		13.0	23.0	61
Maneb	27.0	23.0	8.0	9.0	25.0	7.0	99
Captan	38.0	14.0			52.0	11.0	115
Benomyl	86.7	71.2		14.3	121.2	103.6	397
<b>Insecticides</b>							
Methyl parathion	37.0	24.0	6.0	2.0	73.0	18.0	160
Phorate	56.1	34.2		5.6	89.5	23.6	209
Carbofuran	137.0	63.0	1.0	44.0	127.0	82.0	454
Carbaryl	11.0	48.0	26.0	1.0	54.0	13.0	153
Toxaphene	3.0	19.0		1.0	32.0	3.0	58
Cypermethrin	89.0	71.2		10.3	199.5	210.0	580
Chlorodimeform	61.8	53.1		6.5	86.5	42.3	250
Lindane	6.2	16.3		2.2	30.6	2.5	58
Malathion	62.0	41.2		6.1	92.1	27.4	229
Parathion	35.0	23.1	5.2	1.6	57.1	16.0	138
Methoxychlor	10.2	11.6		2.4	28.7	16.9	70

Πηγή: Helsel (1992)

Πίνακας 3-16. Χρήση φυτοφαρμάκων σε διάφορα στάδια της παραγωγής για το διάστημα 2001-2016 στην Καλιφόρνια.

Έτος	Γεωργική καλλιέργεια (Production Agriculture)	Επεξεργασία μετά τη συγκομιδή (Post Harvest Treatment)	Δομικός έλεγχος παρασίτων (Structural Pest Control)	Διατήρηση τοπίου (Landscape Maintenance)	Άλλες χρήσεις	Σύνολο (tons)
2001	71.482	731	2.461	645	3.162	78.481
2002	79.607	926	2.735	725	3.417	87.411
2003	80.527	893	2.589	988	3.763	88.760
2004	82.958	937	2.560	806	3.498	90.760
2005	89.185	1.130	2.813	888	4.259	98.275
2006	84.334	1.108	2.637	1.143	5.135	94.357
2007	78.741	1.140	1.984	836	3.673	86.374
2008	74.731	1.270	1.601	795	3.618	82.015
2009	73.266	740	1.456	673	3.009	79.143
2010	79.985	1.080	1.850	867	4.011	87.794
2011	88.387	764	1.574	859	4.198	95.783
2012	86.029	621	1.733	778	4.665	93.826
2013	89.583	763	1.902	733	4.986	97.967
2014	87.437	667	1.868	809	4.450	95.231
2015	97.558	738	2.150	845	4.656	105.947
2016	95.869	825	2.311	874	4.607	104.486

Πηγή: California Department of Pesticide Regulation.

δ) Όσον αφορά, τέλος, την απαίτηση ενέργειας για τη λειτουργία γεωργικών μηχανημάτων και οχημάτων, έχει υπολογισθεί από το California Air Resources Board (2018) μία μέση ποσότητα ντίτζελ ανά καλλιεργήσιμη έκταση, η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί για όλες τις καλλιέργειες και για όλα τα γεωργικά μηχανήματα-οχήματα. Μετατρέποντας, σύμφωνα με τους (Kranz, 2010), την ποσότητα αυτή στο ηλεκτρικό της ισοδύναμο και πολλαπλασιάζοντας την με τις εκτάσεις των κυριάρχων καλλιεργειών της πολιτείας, τόσο στο στάδιο της φύτευσης όσο και στο στάδιο της συγκομιδής, προέκυψε η συνολική κατανάλωση ενέργειας από τη χρήση γεωργικών μηχανημάτων για το διάστημα 2001-2017. Στις περιπτώσεις που δε διατίθεντο διαφορετικά δεδομένα για την έκταση φύτευσης και συγκομιδής, θεωρήθηκε ότι οι δύο εκτάσεις ταυτίζονται για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια. Επειδή, όμως, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο (2.5), οι κυρίαρχες καλλιέργειες σε όλο το διάστημα μελέτης αποτελούσαν περίπου το 66% της συνολικής, καλλιεργήσιμης έκτασης και 78% της έκτασης συγκομιδής (harvested cropland), χρησιμοποιώντας αυτήν την πληροφορία κατέστη δυνατόν οι μέσες ενέργειες για το διάστημα 2001-2017 να αναχθούν σε επίπεδο ολόκληρης της πολιτείας.

### 3.2.6 Τροφή για ενέργεια

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, μόνο 2% της ηλεκτρικής ενέργειας στην Καλιφόρνια προέρχεται από τη βιομάζα και μάλιστα, στον όρο βιομάζα, όπως αυτός δίνεται από τη CEC, δεν περιλαμβάνονται οι ενεργειακές καλλιέργειες παρά μόνο τα γεωργικά υπολείμματα, τα προερχόμενα από δέντρα παραπροϊόντα (πεσμένα φύλλα, κλαριά κ.ά.) και τα ξύλινα και άλλα αστικά απόβλητα και λύματα. Η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών στην πολιτεία είναι κάθε άλλο παρά εδραιωμένη. Γι' αυτό το λόγο, θεωρείται πως η αλληλεπίδραση-ροή με αρχικό φυσικό πόρο την τροφή και τελικό φυσικό πόρο την ενέργεια δίνει μηδενικά αποτελέσματα για την περίπτωση της Καλιφόρνιας.

## 4 Αποτελέσματα – Συζήτηση

Στο παρόν κεφάλαιο καταγράφονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών που περιγράφηκαν αναλυτικά παραπάνω. Η καταγραφή τους γίνεται, αρχικά, ξεχωριστά για κάθε αλληλεπίδραση μεταξύ των στοιχείων του WEFN και στο τέλος, δίνεται μία συγκεντρωμένη, συνολική εικόνα για τη διαχείριση του νερού, της ενέργειας και της τροφής στην πολιτεία. Τόσο στο αρχικό όσο και στο τελικό στάδιο της παρουσίασης των αποτελεσμάτων παρατίθενται σχόλια και γίνεται σχολιασμός αυτών.

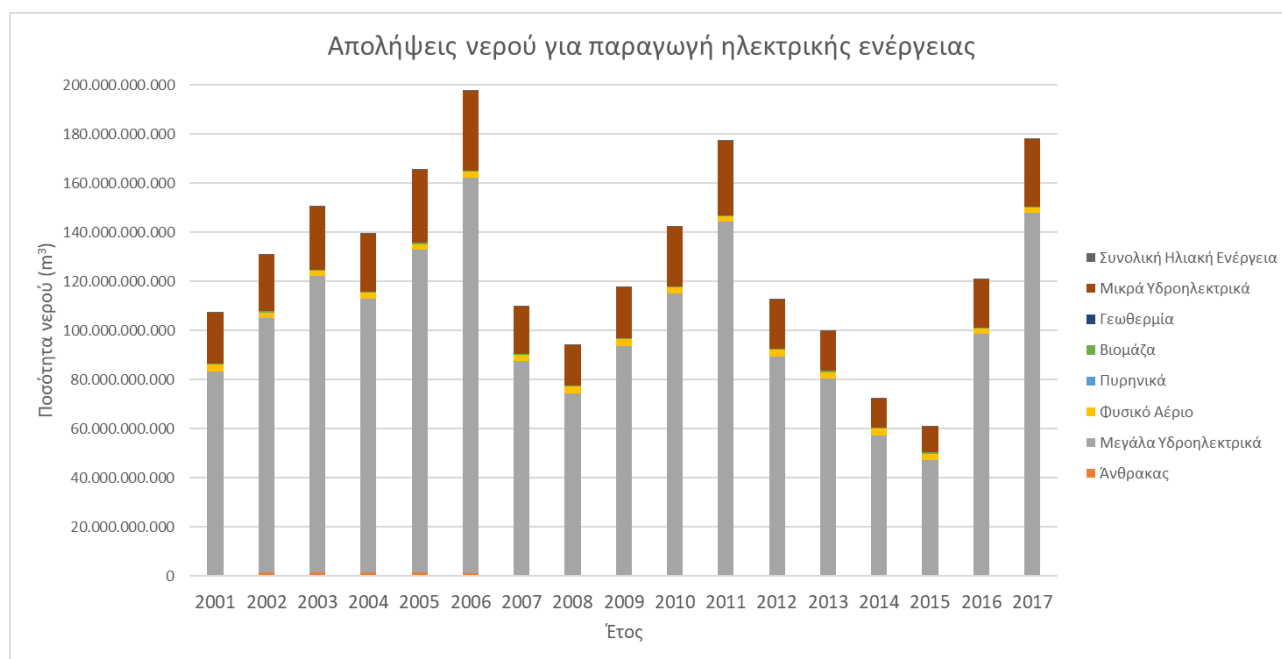
### 4.1 Οι αλληλεπιδράσεις των στοιχείων του WEFN

#### 4.1.1 Νερό για ενέργεια

Αρχικά, τα αποτελέσματα για την αλληλεπίδραση νερού και ενέργειας, με το νερό ως αρχικό φυσικό πόρο και την ενέργεια ως τελικό, θα παρουσιασθούν χωρισμένα σε δύο κατηγορίες κατ' αντιστοιχία με το προηγούμενο κεφάλαιο. Η πρώτη κατηγορία αφορά τη συνολική απόληψη και την επιμέρους κατανάλωση νερού για ηλεκτρική παραγωγή και η δεύτερη περιλαμβάνει την κατανάλωση νερού σε όλον τον κύκλο ζωής του πετρελαίου.

##### I. Χρήση νερού για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Στα Σχήμα 4-1, που ακολουθεί, απεικονίζεται η συνολική ποσότητα νερού που χρησιμοποιεί κάθε κατηγορία εργοστασίων, όπως αυτές παρουσιάστηκαν παραπάνω (3.2.1).



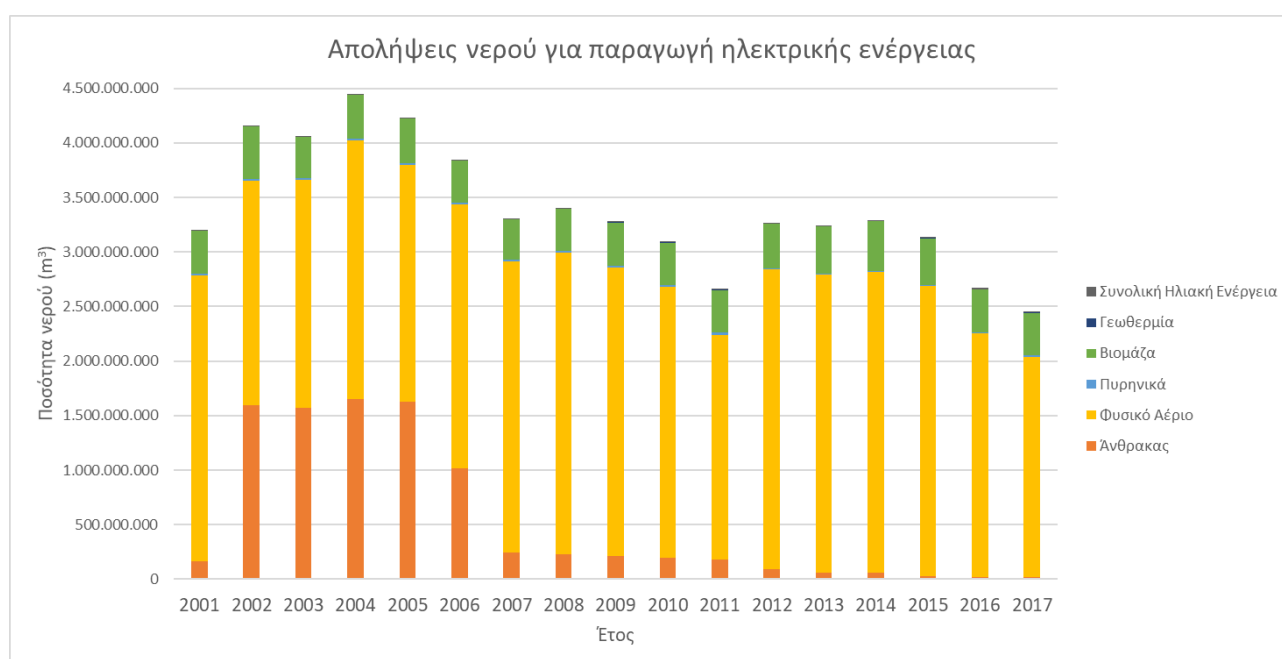
Σχήμα 4-1. Συνολικές απολήψεις νερού για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2017.

Η μέση ποσότητα απολήψεων για το διάστημα 2001-2017 ήταν περίπου 128 δισεκατομμύρια  $m^3$ . Το σχήμα απεικονίζει, επίσης, emphaticά ότι η μεγαλύτερη χρήση νερού από όλον τον ηλεκτρικό τομέα της πολιτείας αναλογεί, διαχρονικά, στα μεγάλα υδροηλεκτρικά. Συγκεκριμένα, αυτά δεσμεύουν 80% του συνολικού νερού που χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή, με τα μικρά υδροηλεκτρικά να



ακολουθούν (17% της συνολικής χρήσης νερού) και τα εργοστάσια φυσικού αερίου, που είναι οι επόμενοι μεγαλύτεροι χρήστες, να ευθύνονται μόνο για το 2%. Στο σχήμα παρατηρείται, επίσης, ότι η ποσότητα των απολήψεων αυξάνεται τα έτη με υψηλά επίπεδα βροχόπτωσης (2006, 2011, 2017), για τα οποία γνωρίζουμε ότι δέχτηκαν αυξημένες κατακρημνίσεις από στοιχεία και του DWR και του NCEI, τα οποία έχουν παρουσιασθεί παραπάνω (2.2.1, 2.3.4). Η αύξηση αυτή οφείλεται, φυσικά, σε αντίστοιχη αύξηση των απολήψεων των μεγάλων υδροηλεκτρικών, τα οποία τα υγρά υδρολογικά έτη αφήνουν περισσότερο νερό να διέρχεται από τις τουρμπίνες τους και λόγω διαθεσιμότητας και λόγω κινδύνου υπερχείλισης.

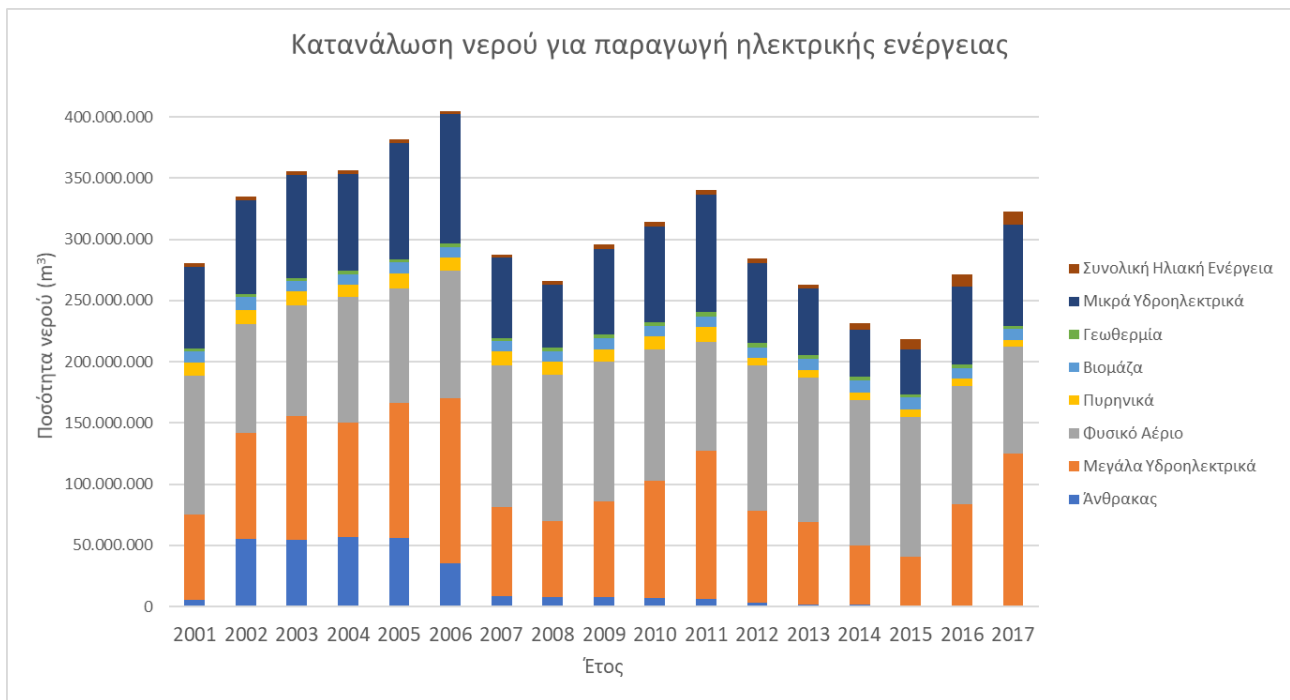
Για την εξαγωγή χρησιμότερων συμπερασμάτων, στο Σχήμα 4-2 παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες απολήψεις νερού, χωρίς όμως, να συμπεριλαμβάνονται τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια (μικρά και μεγάλα), ώστε να μην αλλοιώνεται η εικόνα λόγω διαφοράς τάξης μεγέθους με τα υπόλοιπα. Η ποσότητα των απολήψεων χωρίς τη συμπερίληψη των υδροηλεκτρικών είναι σχεδόν 3,4 δισεκατομμύρια m<sup>3</sup>.



Σχήμα 4-2. Συνολικές απολήψεις νερού για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Καλιφόρνια από όλα τα εργοστάσια εκτός των υδροηλεκτρικών για το διάστημα 2001-2017.

Στο παραπάνω σχήμα είναι πιο εύκολα συγκρίσιμα τα ποσά απολήψεων από τα εναπομείναντα εργοστάσια. Η πληροφορία που παρέχεται, πέρα από τις σταθερά μεγάλες απολήψεις των εργοστασίων φυσικού αερίου και τη ραγδαία μείωση αυτών από τα εργοστάσια καύσης άνθρακα, λόγω απόσυρσής τους την τελευταία δεκαετία, είναι ότι η τα εργοστάσια βιομάζας αποτελούν, επίσης, ένα σταθερό χρήστη νερού, με μέσες απολήψεις που μπορεί να είναι μηδαμινές σε σύγκριση με αυτές των υδροηλεκτρικών, αλλά, παρ' όλ' αυτά, φτάνουν περίπου τα 3 hm<sup>3</sup> ετησίως. Επιπλέον, κάτι που δεν αποτυπώνεται ούτε στο τελευταίο σχήμα είναι, πως τα ηλιακά εργοστάσια χρησιμοποιούν σχεδόν διπλάσια ποσότητα νερού ( περίπου 4,8 hm<sup>3</sup>) σε σύγκριση με τα γεωθερμικά (περίπου 2,8 hm<sup>3</sup>).

Στο Σχήμα 4-3, τώρα, διαφαίνονται τα ποσά του νερού που καταναλώνονται από τον εκάστοτε τύπο εργοστασίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η συνολική, μέση ποσότητα καταναλισκόμενου νερού για το διάστημα 2001-2017 ήταν λίγο παραπάνω από 300 hm<sup>3</sup>.

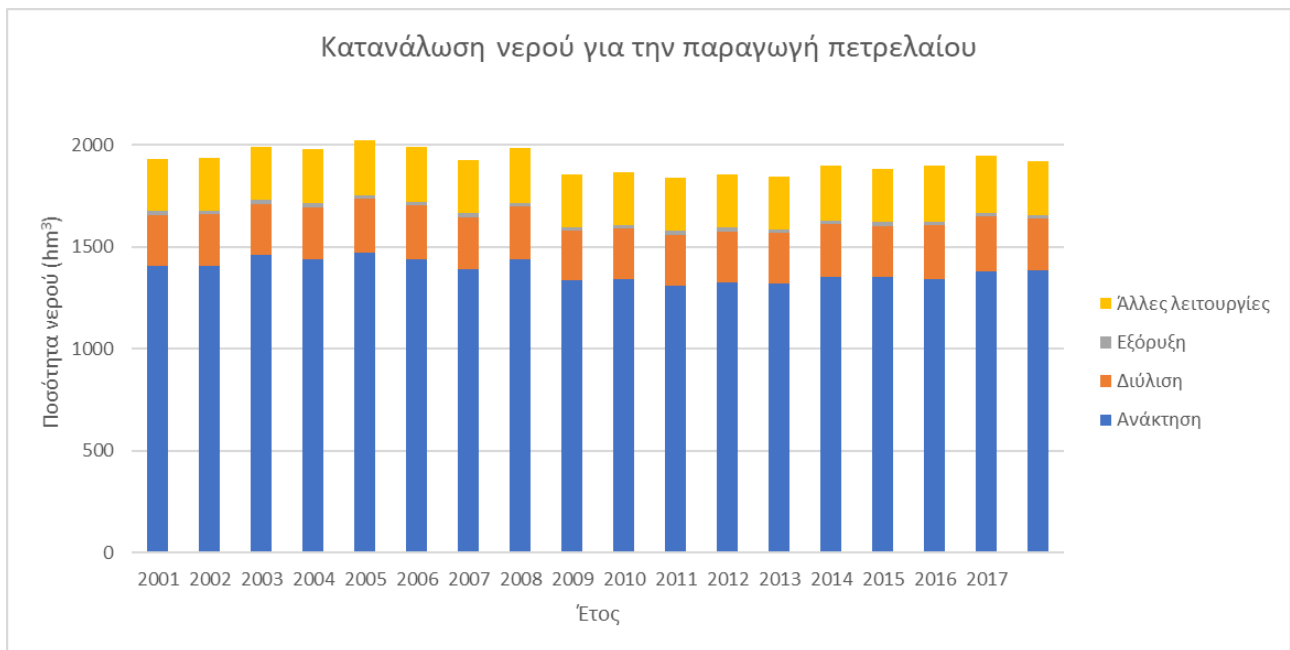


Σχήμα 4-3. Κατανάλωση νερού για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2017.

Η ενδιαφέρουσα πληροφορία που προκύπτει από το προηγούμενο σχήμα είναι, ότι το περισσότερο νερό καταναλώνεται από τα εργοστάσια φυσικού αερίου, αποτελώντας 34% του συνολικά καταναλισκόμενου, ενώ τα μεγάλα και μικρά υδροηλεκτρικά ακολουθούν με 28% και 23%, αντίστοιχα. Από τους υπολογισμούς προέκυψε, επιπλέον, ότι τα εργοστάσια βιομάζας και τα πυρηνικά καταναλώνουν περίπου 9 hm<sup>3</sup> αμφότερα, ενώ τα ηλιακά και τα γεωθερμικά καταναλώνουν παραπάνω από το 90% της συνολικής ποσότητας νερού που χρειάζονται για τη λειτουργία τους.

## II. Κατανάλωση νερού για εξεύρεση, εξόρυξη, επεξεργασία, ανάκτηση και διύλιση πετρελαίου

Η ετήσια κατανάλωση νερού από τα πετρελαϊκά εργοστάσια, με σκοπό την παραγωγή καυσίμων, κυρίως, για τον τομέα των μεταφορών και για τη βιομηχανία, φαίνεται στο Σχήμα 4-4, με τη μέση τιμή αυτής για το διάστημα 2001-2017 να φτάνει σχεδόν τα 1921 hm<sup>3</sup>. Από αυτό το σχήμα γίνεται σαφές, ότι από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του πετρελαίου το στάδιο της ανάκτησής του (oil recovery) είναι μακράν το πιο απαιτητικό σε νερό.



Σχήμα 4-4. Ετήσια κατανάλωση νερού για την παραγωγή πετρελαίου στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2017.

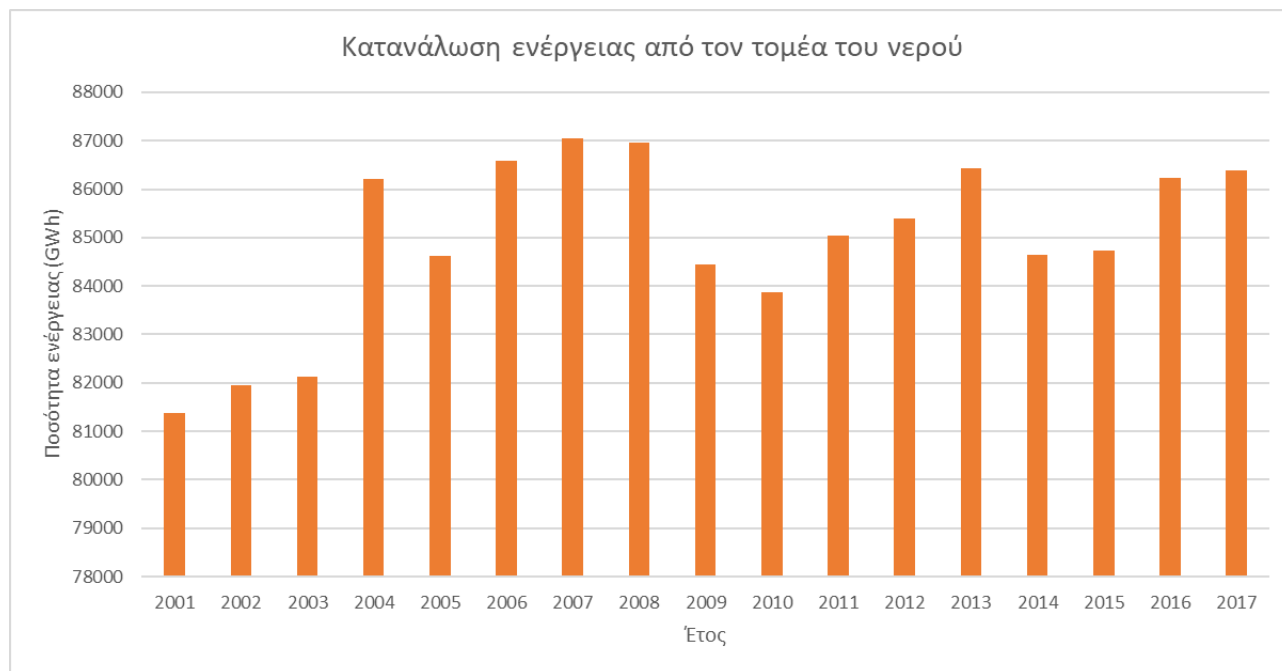
Συνοψίζοντας, για να δοθεί μια συνολική εικόνα σχετικά με το πόσο νερό απαιτεί ο τομέας της ενέργειας στην Καλιφόρνια, οι ποσότητες των κατηγοριών Ι και ΙΙ προστέθηκαν και στο Σχήμα 4-5 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ετήσιες, συνολικές απολήψεις νερού με σκοπό τη λειτουργία του τομέα της ενέργειας της Καλιφόρνιας από το 2001 έως το 2017. Η μέση τιμή των απολήψεων αυτών για το προαναφερθέν χρονικό διάστημα ήταν σχεδόν 130 δισεκατομμύρια  $m^3$  (129937  $hm^3$ ). Το ποσοστό του καταναλισκόμενου από το συνολικό νερό είναι μικρότερο από 2% (2227  $hm^3$ ).



Σχήμα 4-5. Συνολικές απολήψεις νερού από τον τομέα της ενέργειας της Καλιφόρνιας στο διάστημα 2001-2017.

### 4.1.2 Ενέργεια για νερό

Εφαρμόζοντας τα βήματα που περιγράφηκαν στην αντίστοιχη ενότητα του προηγούμενου κεφαλαίου, προέκυψαν 52.699 GWh και 11655 m<sup>3</sup> φυσικού αερίου και 88 εκατομμύρια gal ντίζελ, ως οι μέσες ποσότητες ενέργειας για το διάστημα 2001-2017, οι οποίες απαιτήθηκαν για την ολοκλήρωση διεργασιών σχετικών με το νερό στην Καλιφόρνια. Μετά τις μετατροπές του φυσικού αερίου και του ντίζελ στο ηλεκτρικό τους ισοδύναμο, η τελική ποσότητα ενέργειας διαμορφώθηκε ως εξής: 52699 GWh πραγματικής ηλεκτρικής ενέργειας, 31002 GWh ηλεκτρικό ισοδύναμο του φυσικού αερίου και 1245 GWh ηλεκτρικό ισοδύναμο του ντίζελ, σύνολο 84946 GWh καταναλισκόμενης ενέργειας για την παροχή νερού στην πολιτεία. Στο Σχήμα 4-6 φαίνεται και η ετήσια κατανάλωση ενέργειας.



Σχήμα 4-6. Ετήσια κατανάλωση ενέργειας από τον τομέα του νερού της Καλιφόρνιας στο διάστημα 2001-2017.

### 4.1.3 Νερό για τροφή

Χρησιμοποιώντας ως πηγές δεδομένων την έκθεση Water Plan Update (2013) και τα στοιχεία της σχετικά με το εφαρμοσμένο νερό στην αρδευόμενη γεωργία (2.3.4) σε συνδυασμό με το ψηφιακό εργαλείο «Water Supply and Balance Data Interface» (DWR-Water Portfolios), συλλέχθηκαν οι ποσότητες νερού οι οποίες απαιτήθηκαν για άρδευση από το 2001 έως το 2015 και παρουσιάζονται στο παρακάτω Σχήμα 4-7. Σε αυτό το σημείο επαναλαμβάνεται, ότι σε αυτές τις ποσότητες δε συμπεριλήφθηκε το νερό που απαιτήθηκε για την εκτροφή των ζώων στο ίδιο διάστημα. Στο Σχήμα 4-7 παρατηρείται η μείωση της ποσότητας του αρδευτικού νερού σε χρονιές με υψηλά ή ακόμη και κανονικά επίπεδα βροχόπτωσης όπως το 2005, το 2006, το 2010 και το 2011. Η μέση ποσότητα για τα δεκαέξι χρόνια για τα οποία διατίθενται δεδομένα ήταν 42396 hm<sup>3</sup>.



Σχήμα 4-7. Χρήση αρδευτικού νερού στην Καλιφόρνια από το 2001 έως το 2015.

#### 4.1.4 Τροφή για νερό

Σύμφωνα με τους Fulton et al. (2012), το εξωτερικό, γεωργικό «υδατικό αποτύπωμα» της Καλιφόρνιας είναι περίπου 52550 hm<sup>3</sup>. Αυτό σημαίνει, ότι η Καλιφόρνια σε ετήσια βάση εισάγει τρόφιμα τα οποία αν παράγονταν εντός της πολιτείας θα απαιτούσαν και θα δέσμευαν την παραπάνω ποσότητα νερού από τους υδατικούς πόρους της ίδιας της πολιτείας, οι οποίοι βρίσκονται, ούτως ή άλλως, υπό πίεση. Μάλιστα, συγκρίνοντας αυτήν την τιμή με το αρδευτικό νερό που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα, παρατηρούμε ότι το υπό μελέτη «υδατικό αποτύπωμα» ξεπερνά το ποσό του νερού που κατευθύνεται προς την άρδευση εντός της πολιτείας. Φυσικά, το δεύτερο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (4.1.3), δεν περιλαμβάνει τον κτηνοτροφικό τομέα, ο οποίος απαιτεί τεράστιες ποσότητες νερού, ενώ, αντίθετα, ο ίδιος τομέας συμπεριλαμβάνεται στην τιμή του πρώτου.

#### 4.1.5 Ενέργεια για τροφή

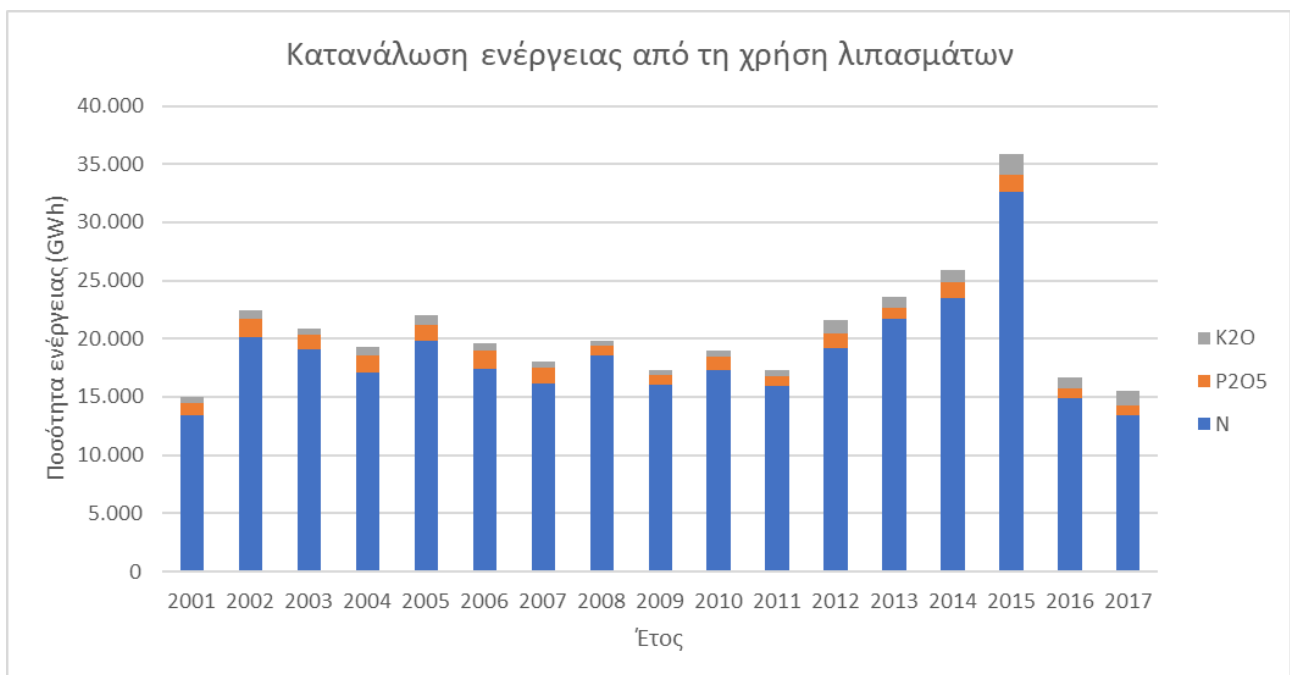
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για κάθε μία από τις περιπτώσεις στις οποίες χρησιμοποιείται ενέργεια, άμεσα ή έμμεσα, με τελικό σκοπό την παραγωγή τροφής. Οι περιπτώσεις αυτές είναι αντίστοιχες με αυτές της ενότητας 3.2.5.

α) Η ενέργεια που καταναλώνεται για την άντληση και μεταφορά νερού για αρδευτικούς σκοπούς είναι ίση με την ενέργεια που υπολογίστηκε και παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.1.2, αν από αυτή αφαιρεθεί το ηλεκτρικό ισοδύναμο του φυσικού αερίου. Ο λόγος γι' αυτό είναι, ότι, σύμφωνα με τους Klein & Krebs (2005), ο τομέας της γεωργίας καταναλώνει σχεδόν μηδαμινές ποσότητες φυσικού αερίου για την εξασφάλιση του απαιτούμενου νερού. Κατά συνέπεια, θεωρείται πως για το διάστημα 2001-2017 καταναλώθηκαν κατά μέσο όρο στην Καλιφόρνια 53944 GWh. Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας φαίνεται στο Σχήμα 4-8, που ακολουθεί.



Σχήμα 4-8. Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για παροχή αρδευτικού νερού με σκοπό την παραγωγή τροφής στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2017.

β) Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή, τη συσκευασία, τη μεταφορά και την εφαρμογή λιπασμάτων στα αγροκτήματα της Καλιφόρνιας από το 2001 έως το 2017 απεικονίζεται στο Σχήμα 4-9. Η μέση τιμή για το εν λόγω χρονικό διάστημα υπολογίστηκε ως 20568 GWh.



Σχήμα 4-9. Ετήσια, αθροιστική κατανάλωση ενέργειας σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των τριών κυρίαρχων ειδών λιπασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2017.

Γνωρίζοντας από τα δεδομένα ότι η συντριπτική πλειοψηφία των χρησιμοποιούμενων λιπασμάτων στην πολιτεία περιέχουν άζωτο και ότι η συγκεκριμένη κατηγορία διαθέτει τις υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις σε σχέση με τις δύο άλλες (Πίνακας 3-14), η εικόνα του άνωθι σχήματος δεν ξαφνιάζει. Στο ίδιο σχήμα παρατηρούμε, επίσης, ότι η αφιερωμένη στα λιπάσματα ενέργεια παρουσίασε μικρές διακυμάνσεις στο διάστημα της δεκαοχταετίας, με εξαίρεση τη χρονιά 2015, όπου φαίνεται ότι η χρήση τους ξεπέρασε κάθε προηγούμενο. Αυτή η παρατήρηση, ενδεχομένως, να έχει σχέση με την κορύφωση της ξηρασίας την ίδια χρονιά, η οποία οδήγησε στην προσπάθεια υποβοήθειας των καλλιεργειών με επιπλέον θρεπτικά, μιας και οι σοδειές θα ήταν, ούτως ή άλλως, λιγότερες λόγω της έλλειψης νερού.

γ) Η ετήσια, συνολική κατανάλωση ενέργειας εξαιτίας της χρήσης φυτοφαρμάκων στην Καλιφόρνια παρατίθεται στο Σχήμα 4-10. Η μέση τιμή αυτής της ενέργειας για το διάστημα 2001-2016 είναι 6111 GWh. Υπενθυμίζεται ότι δε βρέθηκαν δεδομένα για το έτος 2017.



Σχήμα 4-10. Ετήσια, αθροιστική κατανάλωση ενέργειας σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής των φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιήθηκαν στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2017.

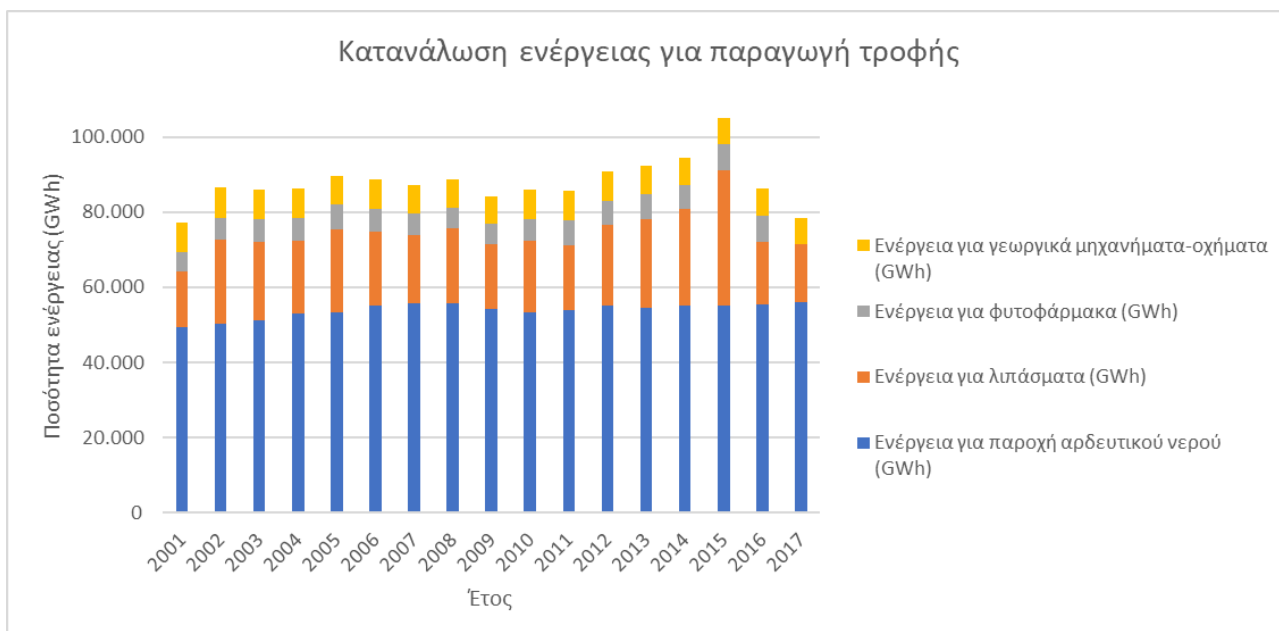
Σε σύγκριση του τελευταίου σχήματος με το Σχήμα 4-9, παρατηρούμε ότι η ενέργεια που καταναλώνεται, εν γένει, εξαιτίας της χρήσης λιπασμάτων είναι παραπάνω από τριπλάσια σε σχέση με την ενέργεια που καταναλώνεται από τη χρήση φυτοφαρμάκων.

δ) Στο παρακάτω Σχήμα 4-11 απεικονίζονται τα ποσά ενέργειας που χρησιμοποιήθηκαν κάθε χρόνο από το 2001 έως το 2017 στην Καλιφόρνια εξαιτίας της χρήσης γεωργικών μηχανημάτων και οχημάτων. Οι μέσες ποσότητες ενέργειας τόσο για το στάδιο φύτευσης όσο και για το στάδιο συγκομιδής των κυρίαρχων καλλιεργειών ήταν 2768 GWh και 2631 GWh, αντίστοιχα. Διαιρώντας αυτές τις ποσότητες με 66% και 78%, αντίστοιχα, προέκυψαν οι συνολικές ποσότητες που αναλογούν σε ολόκληρη την καλλιεργήσιμη έκταση (total cropland) και ολόκληρη την έκταση συγκομιδής (harvested cropland) της πολιτείας, δηλαδή, κατ' αντιστοιχία, 4194 GWh και 3373 GWh. Ολοκληρώνοντας, η συνολική μέση τιμή της ενέργειας που καταναλώθηκε στην πολιτεία από τη χρήση γεωργικών μηχανημάτων και οχημάτων την περίοδο 2001-2017 ήταν 7567 GWh.



Σχήμα 4-11. Ετήσια κατανάλωση ενέργειας από τη χρήση γεωργικών μηχανημάτων και οχημάτων στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2017.

Συνοψίζοντας, τα αθροιστικά αποτελέσματα σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή τροφής στην πολιτεία από το 2001 έως το 2017 παρουσιάζονται στο Σχήμα 4-12. Παρατηρείται η μεγάλη ενεργειακή ένταση (energy intensity) στο στάδιο παροχής του αρδευτικού νερού. Η μέση τιμή της συνολικής ενέργειας για τη δεκαοχταετία υπολογίστηκε ως 87831 GWh.



Σχήμα 4-12. Ετήσια, συνολική κατανάλωση ενέργειας για παραγωγή τροφής στην Καλιφόρνια στο διάστημα 2001-2017.



#### 4.1.6 Τροφή για ενέργεια

Αν και, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (3.2.6), η αλληλεπίδραση με αρχικό φυσικό πόρο την τροφή και τελικό την ενέργεια θεωρείται μηδενική για την Καλιφόρνια, στην παρούσα ενότητα γίνεται μία συζήτηση σχετικά με κάποιες ενεργειακές καλλιέργειες, το λόγο που αυτό το είδος καλλιεργειών δεν είναι ανεπτυγμένο, εν γένει, στην πολιτεία και την προοπτική τους για ανάπτυξη στο μέλλον.

Αυτό που καθιστά την Καλιφόρνια την πιο επιτυχημένη, από άποψη εσόδων, γεωργία στις Η.Π.Α. είναι η ικανότητα των αγροτών της να παράγουν μεγάλη ποικιλία προϊόντων υψηλής αξίας, δηλαδή, τρόφιμων καλλιεργειών, σε αντίθεση με άλλες ισχυρές γεωργικές πολιτείες όπως η Αϊόβα, το Τέξας, η Νεμπράσκα και το Ιλινόις που προτιμούν περισσότερο την καλλιέργεια ζωοτροφών ή βιομηχανικών καλλιεργειών. Επομένως, είναι απόλυτα λογικό οι αγρότες της Καλιφόρνιας να στραφούν στις ενεργειακές καλλιέργειες μόνο αν η αγορά κατορθώσει να εξασφαλίσει ανταγωνιστικές τιμές για αυτές σε σχέση με τα τρόφιμα, ώστε το κέρδος να αποτελεί κίνητρο για τους παραγωγούς (Kaffka et al., 2015).

Προγράμματα όπως το «Global Warming Solutions Act» (Sustainable Development Knowledge Platform) που έχουν θέσει μελλοντικούς στόχους για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> της πολιτείας, καθιστούν εμφανή την ανάγκη για αλλαγή του μίγματος καυσίμων που χρησιμοποιεί και ενδεχομένως, την ανάγκη για εγχώρια παραγωγή βιοκαυσίμων, όπως αιθανόλης και βιοντίζελ. Σχετικά με την αιθανόλη έχει γίνει αναφορά και σε προηγούμενο κεφάλαιο και είναι γνωστό ότι η Καλιφόρνια εισάγει το 90-95% της ποσότητας που καταναλώνει (Six et al., 2011). Παρότι αυτό σημαίνει πως η ίδια η πολιτεία δε χρειάζεται να θυσιάσει φυσικούς πόρους, όπως νερό και ενέργεια, για την παραγωγή της, είναι πιθανό ότι με το παρόν καθεστώς δημιουργείται πίεση και προβλήματα βιωσιμότητας στην περιοχή προέλευσης. Τέτοιου είδους αλυσιδωτές αντιδράσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε μια ανάλυση WEFN, σε κλίμακες που μπορεί να ξεκινάνε από τοπικό επίπεδο και να καταλήγουν σε παγκόσμιο.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, πέντε καλλιέργειες κατέχουν προβάδισμα στην καθιέρωση τους ως πρώτη ύλη βιοκαυσίμων στην Καλιφόρνια. Αυτές είναι το γλυκό σόργο (sweet sorghum), τα ζαχαρότευτλα (sugar beets) και η αγριάδα (bermudagrass) για παραγωγή αιθανόλης και έλαια από κανόλα (canola) και κενταύριο (safflower) για βιοντίζελ (Kaffka, 2009; Williams et al., 2007). Συνοπτικά, το γλυκό σόργο είναι ένα ετήσιο γρασίδι, πολύ πιο αποδοτικό ως προς τις ανάγκες νερού σε σχέση με το καλαμπόκι, για παράδειγμα, που αποτελεί την κυρίαρχη καλλιέργεια παραγωγής αιθανόλης στην Αμερική (Kaffka, 2009; Reddy et al., 2007). Το περιεχόμενο του σε ζάχαρη είναι μεγαλύτερο από το ζαχαροκάλαμο (sugar cane), το οποίο είναι, επίσης, ευρέως διαδεδομένο σε χώρες με παράδοση στην παραγωγή βιοκαυσίμων, όπως η Βραζιλία και άλλα τροπικά μέρη και γι' αυτό, θεωρείται καλύτερη πρώτη ύλη (Reddy et al., 2007). Τα ζαχαρότευτλα συνήθιζαν να καλλιεργούνται ευρέως στην Καλιφόρνια από το 1870, αλλά σήμερα, μειώνονται όλο και περισσότερο, παρόλο που οι σοδειές που συγκεντρώνονται στην Κοιλάδα Ιμπιρίαλ εξακολουθούν να είναι οι υψηλότερες σε όλον τον κόσμο (Kaffka, 2009).

Συνεχίζοντας, η αγριάδα είναι ένα φυτό που αναπτύσσεται γρήγορα και χρησιμοποιείται εκτεταμένα στην πολιτεία ως ζωοτροφή, αλλά αν μεγαλώσει επαρκώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως βιοκαύσιμο. Στα πλεονεκτήματά της ανήκει η ανοχή της σε συνθήκες υψηλής αλατότητας (Kaffka, 2009). Επιπλέον, η κανόλα μεγαλώνει καλά στην Καλιφόρνια και μπορεί να αποκαταστήσει τη συσσώρευση σεληνίου στην Κοιλάδα του Σαν Χοακίν (Kaffka, 2009). Καλλιεργείται το χειμώνα κατά τη διάρκεια της περιόδου των βροχών και επομένως, απαιτεί σχετικά μικρή άρδευση. Όσον αφορά το κενταύριο, χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια στην Καλιφόρνια για την παραγωγή λαδιού και δείχνει μεγάλη προσαρμοστικότητα στο κλίμα και τα εδάφη με υψηλή αλατότητα της πολιτείας. Όπως συμπληρώνουν οι Six et al. (2011), στην παραπάνω λίστα μπορεί να προστεθεί το σουίτσγκρας (switchgrass), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ενεργειακή καλλιέργεια και ως ζωοτροφή,

ιδιότητα που θα μπορούσε να υποστηρίξει τόσο την απεξάρτηση της Καλιφόρνιας από τις εισαγωγές αιθανόλης όσο και τον μεγάλο κτηνοτροφικό της τομέα.

Συμπερασματικά, πολλές από τις προαναφερθείσες ενεργειακές καλλιέργειες θα μπορούσαν παράλληλα με το δυναμικό τους σε πιθανή ενέργεια να προσφέρουν και διάφορα περιβαλλοντικά οφέλη στην πολιτεία. Για παράδειγμα, το κενταύριο εκτός από την ανοχή του στην υψηλή αλατότητα, πράγμα που μπορεί να σημαίνει και καλλιέργειά του σε απομακρυσμένες περιοχές όπου είναι αδύνατο για άλλες καλλιέργειες να αναπτυχθούν, έχει, επιπρόσθετα, το εξής χαρακτηριστικό· το ριζικό του σύστημα φτάνει σε πολύ μεγάλα βάθη, γεγονός που του επιτρέπει να απορροφά νερό της βροχής ή της άρδευσης προηγούμενων ετών από κατώτερα εδαφικά στρώματα, σε περιοχές που έχουν αποστραγγιστεί από την υπεράντληση. Επίσης, έχει την ικανότητα να προσλαμβάνει άζωτο από βαθύτερα σημεία του εδάφους σε σχέση με άλλα φυτά (Bassil et al., 2002). Όπως σημειώθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, όμως, τροχοπέδη στην ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών στην Καλιφόρνια αποτελεί η σχέση κόστους-κέρδους συγκριτικά με τις υπόλοιπες.

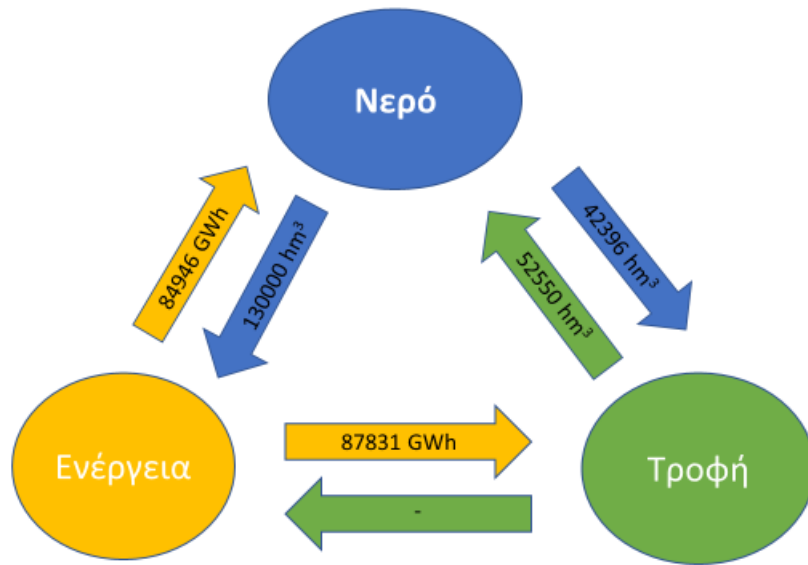
Ολοκληρώνοντας, ορισμένες καλλιέργειες τέτοιου είδους μπορούν να φυτευτούν και ανάμεσα σε άλλες, μεγαλύτερης εισπρακτικής αξίας. Παράδειγμα αποτελεί το Σχήμα 4-13, το οποίο απεικονίζει σε φωτογραφία φυτά κανόλας ανάμεσα σε φρεσκοφυτεμένες φιστικιές στην κομητεία Κερν. Τα φιστίκια αναπτύσσονται νωρίς το καλοκαίρι και ωριμάζουν αργά τον Αύγουστο ή ακόμη και το Σεπτέμβριο. Έτσι, δυνητικά υπάρχουν πολλές διαθέσιμες εκτάσεις σε σπωρώνες και αμπελώνες όπου μπορούν να ενταχθούν το χειμώνα ελαιοπαραγωγικά φυτά όπως η κανόλα και η καμελίνα (*camelina*), στηριζόμενα, κυρίως, στη βροχόπτωση ή σε μικρές ποσότητες άρδευσης.



Σχήμα 4-13. Καλλιέργεια κανόλας σε σπωρώνες φιστικιών στην κομητεία Κερν. Πηγή: Kaffka et al. (2015).

## 4.2 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα

Στο Σχήμα 4-14, που παρουσιάζεται στην επόμενη σελίδα, απεικονίζεται το τρίγωνο του WEFN για την περίπτωση της Καλιφόρνιας. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων του είναι οι μέσοι όροι των ποσοτήτων που παρουσιάστηκαν στο παρόν κεφάλαιο για το διάστημα 2001-2017.



Σχήμα 4-14. Το τρίγωνο του WEFN για την περιοχή της Καλιφόρνιας και οι μέσες τιμές των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των στοιχείων του για το διάστημα 2001-2017.

## 5 Συμπεράσματα-Μελλοντική Έρευνα

Καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποκτήθηκαν αρκετές γνώσεις και εμπειρία από την πλευρά της συγγραφέα. Εξ' αρχής, στόχος ήταν η ενασχόληση με το αντικείμενο του Nexus και η πρακτική εφαρμογή της λογικής του σε μία περιοχή μελέτης.

Ακολούθως, καταγράφονται ορισμένα από τα συμπεράσματα που εξήχθησαν τόσο για το Nexus, γενικά, όσο και για τη διαχείριση φυσικών πόρων στην Καλιφόρνια.

1. Το Nexus αποτελεί ένα πολυπαραγοντικό εργαλείο ανάλυσης και διαχείρισης των βασικών φυσικών πόρων: νερό-ενέργεια-τροφή· σε βαθμό, μάλιστα, που είναι δύσκολο να τεθούν τα όρια του εκάστοτε συστήματος ανάλυσης ή ακόμη και όταν τεθούν, είναι πιθανό να παραβιαστούν.
2. Η σαφής διάκριση των ορισμών αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση σε μια ανάλυση WEFN. Όταν υπάρχουν διαθέσιμες τόσες πολλές βάσεις δεδομένων από διαφορετικούς φορείς και διευθύνσεις, οι οποίες παρέχουν στοιχεία χρησιμοποιώντας ευρείς ορισμούς, είναι πολύ πιθανό οι επικαλύψεις μεταξύ των δεδομένων τους, εξαιτίας των εναλλακτικών όρων που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με την εμπειρία του μελετητή, να παρέχουν αναληθείς πληροφορίες και να οδηγήσουν στην εξαγωγή διαφοροποιημένων συμπερασμάτων που αλλοιώνουν το αποτέλεσμα της ανάλυσης. Το πρόβλημα με τη χρήση των ορισμών ήταν ιδιαίτερα συχνό κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας και προσέδωσε μεγάλη δυσκολία στη συλλογή των δεδομένων.
3. Η προσπάθεια πραγματοποίησης μια διερεύνησης WEFN στην πολιτεία της Καλιφόρνιας, η οποία ισοδυναμεί με ένα μεγάλο κράτος που χαρακτηρίζεται από εξίσου μεγάλους περιγραφικούς δείκτες (πληθυσμιακούς, οικονομικούς, ενεργειακούς κ.ά.) αποδείχθηκε ακόμη δυσκολότερη, καθώς όσο μεγαλύτερο το υπό μελέτη σύστημα τόσο μεγαλύτερα τα επιμέρους στοιχεία του και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών.
4. Εκτός από τον εντοπισμό των ροών μεταξύ των φυσικών πόρων μιας περιοχής, πολύ μεγάλη σημασία ή ίσως και μεγαλύτερη έχουν η πολιτική βούληση ή διακυβέρνηση (governance) και η διατομεακή συνεργασία που συνοδεύουν τέτοια ευρήματα και διαπιστώσεις. Τις χρονιές με μειωμένη βροχόπτωση η πολιτεία τείνει να υπεραντλεί υπόγειο νερό και να μειώνει ραγδαία τις οικολογικές της παροχές, ώστε να εξασφαλίσει τις απαραίτητες ποσότητες για τη γεωργία και τις μητροπόλεις της. Σε περιόδους ξηρασίας το υπόγειο νερό φτάνει το 60% της συνολικής κατανάλωσης.
5. Ο γεωργικός τομέας της πολιτείας επιλέγει απαιτητικές σε νερό καλλιέργειες, οι οποίες, όμως, διαθέτουν μεγάλη εξαγωγική δυναμική και οικονομική αξία. Παρά την εγχώρια παραγωγή παραπάνω από 400 διαφορετικών καλλιεργειών, η Καλιφόρνια στηρίζεται πολύ στις εισαγωγές τροφίμων για την κάλυψη των αναγκών της, πράγμα που υποδηλώνεται από το μεγάλο, εξωτερικό, γεωργικό της «υδατικό αποτύπωμα».
6. Η ποσότητα νερού που καταναλώνεται από τα διυλιστήρια πετρελαίου είναι παραπάνω από 6 φορές μεγαλύτερη από τη συνολική ποσότητα που καταναλώνουν όλα τα εργοστάσια ηλεκτρικής παραγωγής μαζί.
7. Η ποσότητα της ενέργειας που καταναλώνεται από δραστηριότητες σχετικές με την παραγωγή τροφής είναι λίγο μεγαλύτερη από την αντίστοιχη ποσότητα για παροχή, διανομή και επεξεργασία του νερού. Η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών στην Καλιφόρνια δεν είναι καθόλου διαδεδομένη σε σύγκριση με τον υπόλοιπο γεωργικό της τομέα.

### Μελλοντική Έρευνα

Με την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής, εκτός από τα συμπεράσματα που προκύπτουν, αναδύονται και ορισμένα στοιχεία της που επιδέχονται βελτίωση καθώς και προοπτικές για μελλοντική έρευνα. Στη συνέχεια, λοιπόν, προτείνονται:

1. Η προσπάθεια εύρεσης των συγκεκριμένων τροφίμων που εισάγει η πολιτεία και ο αναλυτικός υπολογισμός του «εικονικού νερού» που εισάγεται μαζί με αυτά. Επιπλέον, η πρόσθεση στην παρούσα μεθοδολογία και στους υπολογισμούς που τη συνοδεύουν της ποσότητας «εικονικού νερού» που εισάγει η Καλιφόρνια μαζί με την εισαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου και αιθανόλης.
2. Ο αναλυτικότερος υπολογισμός της ποσότητας του νερού που χρησιμοποιείται από τον τομέα της ενέργειας μέσω της εύρεσης δεδομένων για τις τεχνολογίες ψύξης όλων των εργοστασίων παραγωγής της πολιτείας. Επιπλέον, η εκτίμηση συντελεστών διαμοιρασμού της ποσότητας του νερού που καταναλώνεται από τις διάφορες χρήσεις, μεταξύ άλλων και της υδροηλεκτρικής παραγωγής, των ταμιευτήρων πολλαπλών χρήσεων.
3. Η αναζήτηση συντελεστών απαίτησης νερού από τις ενεργειακές καλλιέργειες που προτείνονται στην παρούσα εργασία και η διερεύνηση των πλεονεκτημάτων ή μειονεκτημάτων τους σε σχέση με την πίεση που μεταφέρουν στον τομέα του νερού και σε σύγκριση με τις υπόλοιπες καλλιέργειες που επιλέγονται μέχρι σήμερα στην πολιτεία.
4. Η υδρολογική προσομοίωση είτε με τη χρήση μοντέλου είτε με τη βοήθεια κλιματικών σεναρίων είτε ακόμη και με στοχαστικό τρόπο και η εξακρίβωση των αλληλεπιδράσεων του WEFN στο μέλλον. Η εξέταση της ευαισθησίας των στοιχείων του WEFN στην Καλιφόρνια ως προς την κλιματική αλλαγή θα ωθήσει και θα προσανατολίσει την έρευνα ως προς το κομμάτι υλοποίησης αντίστοιχων προγραμμάτων ανάσχεσης των συνεπειών της αλλαγής του κλίματος.
5. Η ένταξη των εκπομπών CO<sub>2</sub> ως παράμετρο της διερεύνησης.
6. Η ένταξη διάφορων κοινωνικών παραμέτρων στην ανάλυση, όπως για παράδειγμα, η εργασιακή απασχόληση ή η απαίτηση εργατικού δυναμικού και εργατοωρών από τον τομέα του νερού, της ενέργειας και της τροφής.
7. Η εξέταση των οικολογικών επιπτώσεων που επιφέρει σε διάφορα οικοσυστήματα η διαχείριση των φυσικών πόρων όπως πραγματοποιείται σήμερα στην Καλιφόρνια.

## 6 Αναφορές

- Μαμάσης, Ν., Ευστρατιάδης, Α., & Κουτσογιάννης, Δ. (2016). Υδροηλεκτρικά έργα.
- Al-Ansari, T. et al. (2015). Development of a life cycle assessment tool for the assessment of food production systems within the energy, water and food nexus. *Sustainable Production and Consumption*. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2015.07.005>
- Albrecht, T. R. et al. (2018). The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment. *Environmental Research Letters*, 13(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa9c6>
- Allan, J. A. (1998). Virtual Water: a Strategic Resource.
- Austin, C. (2015a). All American Canal. Retrieved March 17, 2019, from <https://mavensnotebook.com/the-notebook-file-cabinet/californias-water-systems/all-american-canal/>
- Austin, C. (2015b). California's Water Systems. Retrieved March 16, 2019, from <https://mavensnotebook.com/the-notebook-file-cabinet/californias-water-systems/>
- Austin, C. (2015c). Hetch Hetchy Water and Power System. Retrieved March 18, 2019, from <https://mavensnotebook.com/the-notebook-file-cabinet/californias-water-systems/hetch-hetchy-aqueduct/>
- Austin, C. (2015d). Los Angeles Aqueduct. Retrieved March 17, 2019, from <https://mavensnotebook.com/the-notebook-file-cabinet/californias-water-systems/los-angeles-aqueduct/>
- Austin, C. (2015e). Mokelumne Aqueduct. Retrieved March 17, 2019, from <https://mavensnotebook.com/the-notebook-file-cabinet/californias-water-systems/mokelumne-aqueduct/>
- Bassil, E. S., Kaffka, S. R., & Hutmacher, R. A. (2002). Response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to residual soil N following cotton (*Gossypium* spp.) in rotation in the San Joaquin Valley of California. *Journal of Agricultural Science*, 138(4), 395–402. <https://doi.org/10.1017/S0021859602002204>
- Bazilian, M. et al. (2011). Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy Policy*, 39(12), 7896–7906. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.039>
- Biggs, E. M. et al. (2015). Sustainable development and the water-energy-food nexus: A perspective on livelihoods. *Environmental Science and Policy*, 54, 389–397. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.002>
- Boyd, J. D. (2007). 2006 Net System Power Report, (April).
- Boyd, J. D., Geesman, J. L., & Brien, T. O. (2006). Net System Power : A Small Share Of California's Power Mix in 2005, (April).
- Brouwer, F. et al. (2018). Energy modelling and the Nexus concept. *Energy Strategy Reviews*, 19, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.10.005>
- Burt, C., Howes, D., & Wilson, G. (2003). California Agricultural Water Electrical Energy Requirements.
- Cairns, R., & Krzywoszynska, A. (2016). Anatomy of a buzzword: The emergence of “the water-energy-food nexus” in UK natural resource debates. *Environmental Science and Policy*. Retrieved from [http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws\\_home/601264/description#description](http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/601264/description#description) n%5Cn<http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed18b&NEWS=N&AN=611297151>
- California Air Resources Board. (2018). Analysis of California 's Diesel Agricultural Equipment Inventory according to Fuel Use , Farm Size , and Equipment Horsepower according to Fuel Use , Farm Size , and Equipment Horsepower.
- California Department of Pesticide Regulation. (n.d.). Summary of Pesticide Use Report Data 2016. Retrieved March 18, 2019, from <https://www.cdpr.ca.gov/docs/pur/pur16rep/tables/table2.pdf>

California Department of Water Resources. (n.d.-a). Current Conditions. Retrieved March 16, 2019, from <https://water.ca.gov/News/Current-Conditions>

California Department of Water Resources. (n.d.-b). Infrastructure. Retrieved March 17, 2019, from <https://water.ca.gov/What-We-Do/Infrastructure>

California Department of Water Resources. (n.d.-c). The California Water System. Retrieved March 16, 2019, from <https://water.ca.gov/Water-Basics/The-California-Water-System>

California Department of Water Resources. (2011). California State Water Project at a Glance.

California Energy Commission. (n.d.-a). California Energy Maps. Retrieved March 17, 2019, from [https://www.energy.ca.gov/maps/renewable/geothermal\\_areas.html](https://www.energy.ca.gov/maps/renewable/geothermal_areas.html)

California Energy Commission. (n.d.-b). California Geothermal Energy Statistics & Data. Retrieved March 17, 2019, from [https://www.energy.ca.gov/almanac/renewables\\_data/geothermal/](https://www.energy.ca.gov/almanac/renewables_data/geothermal/)

California Energy Commission. (n.d.-c). California Hydroelectric Statistics & Data. Retrieved March 18, 2019, from [https://www.energy.ca.gov/almanac/renewables\\_data/hydro/](https://www.energy.ca.gov/almanac/renewables_data/hydro/)

California Energy Commission. (n.d.-d). California Solar Energy Statistics & Data. Retrieved March 17, 2019, from [https://www.energy.ca.gov/almanac/renewables\\_data/solar/](https://www.energy.ca.gov/almanac/renewables_data/solar/)

California Energy Commission. (n.d.-e). Oil Supply Sources To California Refineries. Retrieved March 18, 2019, from [https://www.energy.ca.gov/almanac/petroleum\\_data/statistics/crude\\_oil\\_receipts.html](https://www.energy.ca.gov/almanac/petroleum_data/statistics/crude_oil_receipts.html)

California Energy Commission. (n.d.-f). Solar Resource Potential in California. Retrieved March 17, 2019, from [https://www.energy.ca.gov/maps/renewable/solar\\_potential.html](https://www.energy.ca.gov/maps/renewable/solar_potential.html)

California Energy Commission. (2018a). Electric Generation Capacity and Energy. Retrieved March 17, 2019, from [https://www.energy.ca.gov/almanac/electricity\\_data/electric\\_generation\\_capacity.html](https://www.energy.ca.gov/almanac/electricity_data/electric_generation_capacity.html)

California Energy Commission. (2018b). Tracking Progress–Energy Efficiency. Retrieved March 17, 2019, from [https://www.energy.ca.gov/renewables/tracking\\_progress/documents/energy\\_efficiency.pdf](https://www.energy.ca.gov/renewables/tracking_progress/documents/energy_efficiency.pdf)

California Energy Commission. (2019). Building Energy Efficiency Standards. Retrieved March 17, 2019, from <https://www.energy.ca.gov/title24/2019standards/>

Carr, J. A., D’Odorico, P., Laio, F., & Ridolfi, L. (2013). Recent History and Geography of Virtual Water Trade. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055825>

C DFA. (n.d.). California Agricultural Production Statistics. Retrieved March 17, 2019, from <https://www.cdafa.ca.gov/Statistics/>

C DFA. (2001). Fertilizing Materials Tonnage Report. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican05031890-11956bsupp>

C DFA. (2002). Fertilizing Materials Tonnage Report.

C DFA. (2003). Fertilizing Materials Tonnage Report.

C DFA. (2004). Fertilizing Materials: Tonnage Report.

C DFA. (2005). Fertilizing Materials Tonnage Materials. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican05031890-11956bsupp>

C DFA. (2006). Fertilizing Materials Tonnage Report.

C DFA. (2007). Fertilizing Materials Tonnage Report.

C DFA. (2008). Fertilizing Materials Tonnage Report.

C DFA. (2009). Fertilizing Materials Tonnage Report.

C DFA. (2010). Fertilizing Materials Tonnage Report.

C DFA. (2011). Fertilizing Materials Tonnage Reports.

C DFA. (2012). Fertilizing Materials Tonnage Report.

C DFA. (2013a). *California Agricultural Statistics Review 2012-2013*.

C DFA. (2013b). Fertilizing Materials Tonnage Report.

C DFA. (2014a). *California Agricultural Exports 2013-2014*.

C DFA. (2014b). *California Agricultural Statistics Review 2013-2014*.

C DFA. (2014c). Fertilizing Materials Tonnage Report.

C DFA. (2015a). *California Agricultural Exports 2014-2015*.

- C DFA. (2015b). Fertilizing Materials Tonnage Report.
- C DFA. (2016a). *California Agricultural Exports 2015-2016*. Retrieved from [http://earthtrends.wri.org/pdf\\_library/data\\_tables/agr4\\_2005.pdf](http://earthtrends.wri.org/pdf_library/data_tables/agr4_2005.pdf)
- C DFA. (2016b). *California Agricultural Statistics Review 2015-2016*. Retrieved from <https://www.cdfa.ca.gov/statistics/PDFs/2016Report.pdf>
- C DFA. (2016c). Fertilizing Materials Tonnage Report.
- C DFA. (2017a). *California Agricultural Exports 2016-2017*.
- C DFA. (2017b). *California Agricultural Statistics Review 2016-2017*. Retrieved from <https://www.cdfa.ca.gov/statistics/PDFs/2015Report.pdf>
- C DFA. (2017c). Fertilizing Materials Tonnage Report.
- C DFA. (2018a). *California Agricultural Exports 2017-2018*.
- C DFA. (2018b). *California Agricultural Statistics Review 2017-2018*.
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2004). *Water Footprints of Nations*.
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2008). The global component of freshwater demand and supply: An assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. *Water International*, 33(1), 19–32. <https://doi.org/10.1080/02508060801927812>
- Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., & Savenije, H. H. G. (2006). Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(3), 455–468. <https://doi.org/10.5194/hess-10-455-2006>
- Colorado River Water Users Association. (n.d.). California. Retrieved March 17, 2019, from <https://www.crwua.org/colorado-river/member-states/california>
- Cooley, H. (2015). Need To Know. California Agricultural Water Use, (April), 1–9.
- Coursera. (n.d.). Sustainability of Social-Ecological Systems: the Nexus between Water, Energy and Food. Universitat Autònoma de Barcelona. Retrieved March 18, 2019, from <https://www.coursera.org/learn/sustainability-social-ecological-systems>
- Dai, J. et al. (2018). Water-energy nexus: A review of methods and tools for macro-assessment. *Applied Energy*, 210(August), 393–408. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.243>
- Dargin, J. et al. (2019). Complexity versus simplicity in water energy food nexus (WEF) assessment tools. *Science of the Total Environment*, 650(2019), 1566–1575. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.080>
- Donev et al. (2018). Energy Education - Run-of-the-river hydroelectricity. Retrieved March 18, 2019, from [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Run-of-the-river\\_hydroelectricity](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Run-of-the-river_hydroelectricity).
- DWR-Natural Resources Agency. (2013a). Resource Management Strategies: Investing in Innovation & Infrastructure. *California Water Plan*, 3.
- DWR-Natural Resources Agency. (2013b). *Water Plan Update 2013. Investing in Innovation & Infrastructure*.
- DWR-Natural Resources Agency. (2015). *California 's Groundwater Update 2013*.
- DWR-Water Portfolios. (n.d.). Water Portfolios. Retrieved March 18, 2019, from <https://water.ca.gov/Programs/California-Water-Plan/Water-Portfolios>
- Electric Power Monthly-Biomass. (2018). EIA - Electricity Data. Retrieved March 17, 2019, from [https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm\\_table\\_grapher.php?t=epmt\\_1\\_15\\_b](https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php?t=epmt_1_15_b)
- Electric Power Monthly-Geothermal. (2018). EIA - Electricity Data. Retrieved March 17, 2019, from [https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm\\_table\\_grapher.php?t=epmt\\_1\\_16\\_b](https://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.php?t=epmt_1_16_b)
- Endo, A. (2017a). Challenges on Water-Energy-Food Nexus by Regions, (June), 28–29.
- Endo, A. et al. (2017b). A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus. *Journal of Hydrology*, 11, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.11.010>
- EPRI. (2002). *Water & Sustainability (Volume 3): U.S. Water Consumption for Power Production-The Next Half Century*.
- Foley, J. A. et al. (2011). Solutions for a cultivated planet. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2011). Energy-Smart Food for People and



Climate.

- Fulton, J., Gleick, P. H., & Cooley Heather. (2012). *California 's Water Footprint*.
- Garcia, D. J., & You, F. (2016). The water-energy-food nexus and process systems engineering: A new focus. *Computers and Chemical Engineering*.  
<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.03.003>
- Geology. (n.d.). California Physical Map. Retrieved March 16, 2019, from <https://geology.com/topographic-physical-map/california.shtml>
- Gerbens-Leenes et al. (2009). The water footprint of energy from biomass : A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.013>
- Gerbens-leenes, W., Hoekstra, A. Y., & van der Meer, T. H. (2009). The water footprint of bioenergy, 2009(23).
- Giampietro et al. (2013). *An Innovative Accounting Framework for the Food-Energy-Water Nexus. Application of the MuSIASEM approach to three case studies*. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/019/i3468e/i3468e.pdf>
- Gleick, P. H. (1994). Water and Energy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 19(1), 267–299. <https://doi.org/10.1146/annurev.eg.19.110194.001411>
- Go Solar California. (n.d.). About the Go Solar Website. Retrieved March 17, 2019, from <https://www.gosolarcalifornia.org/about/index.php>
- Helsel, Z. R. (1992). Energy and Alternatives for Fertilizer and Pesticide Use, 2, 177–201. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-88681-1.50018-1>
- Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. (2005). Globalisation of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change*, 15(1), 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.06.004>
- Hoff, H. (2011). Understanding the Nexus. *Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus.*, Stockholm Environment Institute, Stockholm. [https://doi.org/10.1016/S0925-4773\(01\)00657-8](https://doi.org/10.1016/S0925-4773(01)00657-8)
- Howarth, C., & Monasterolo, I. (2016). Understanding barriers to decision making in the UK energy-food-water nexus: The added value of interdisciplinary approaches. *Environmental Science and Policy*, 61, 53–60. Retrieved from <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L609403314>  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.03.014>
- Howells, T., & Morgan, E. (2018). Gross Domestic Product by Industry: Second Quarter 2018. Retrieved from [https://www.bea.gov/system/files/2018-10/gdpind218\\_1.pdf](https://www.bea.gov/system/files/2018-10/gdpind218_1.pdf)
- IEA. (2018). World Energy Outlook. Retrieved March 18, 2019, from <https://www.iea.org/weo/water/IndexMundi>.
- (n.d.). Commodity Prices. Retrieved March 16, 2019, from <https://www.indexmundi.com/commodities/>
- International Renewable Energy Agency. (2015). Renewable Energy In The Water, Energy & Food Nexus, (January).
- Kaddoura, S., & El Khatib, S. (2017). Review of water-energy-food Nexus tools to improve the Nexus modelling approach for integrated policy making. *Environmental Science and Policy*, 77(May), 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.007>
- Kaffka, S. et al. (2015). Biomass Resources in California: Potential for Economic Use, 1–51.
- Kaffka, S. R. (2009). Can feedstock production for biofuels be sustainable in California ? *California Agriculture*, 63(4).
- Kim, G. R. (2009). Analysis of Global Food Market and Food-Energy Price Links - Based on System Dynamics Approach -.
- Klein, G., & Krebs, M. (2005). *California 's Water – Energy Relationship-Final Staff Report*.
- Kranz, W. et al. (2010). Updating the Nebraska pumping plant performance criteria. *Proceedings of the 22nd Annual Central Plains Irrigation Conference*.
- Lampert, D. J. et al. (2016). “ Analysis of Water Consumption Associated with Hydroelectric Power Generation in the United States .”

- Laspidou, C. S. et al. (2018). Modelling the Water-Energy-Food-Land Use-Climate Nexus: The Nexus Tree Approach. *Proceedings*, 2(11), 617. <https://doi.org/10.3390/proceedings2110617>
- Liu, J. et al. (2017). Challenges in operationalizing the water – energy – food nexus. *Hydrological Sciences Journal*. <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1353695>
- Lund, J. et al. (2018). Lessons from California’s 2012–2016 Drought. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(10), 04018067. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000984](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000984)
- Macknick, J. et al. (2011). A Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies. *National Renewable Energy Laboratory*, (March). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/045802>
- Mannan, M., Al-Ansari, T., Mackey, H. R., & Al-Ghamdi, S. G. (2018). Quantifying the Energy, Water and Food nexus: A review of the latest developments based on life-cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 193, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.050>
- Mannschatz, T., Wolf, T., & Hülsmann, S. (2016). Environmental Modelling & Software Nexus Tools Platform : Web-based comparison of modelling tools for analysis of water-soil-waste nexus. *Environmental Modelling and Software*, 76, 137–153. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.10.031>
- Mehta, H. L., Norin, L. B., & White, L. (2007). *Nuclear Power in California : 2007 Status Report*.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). The blue water footprint of electricity from hydropower. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(1), 179–187. <https://doi.org/10.5194/hess-16-179-2012>
- Meldrum, J. et al. (2013). Life cycle water use for electricity generation : a review and harmonization of literature estimates. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015031>
- Mubako, S. T., & Lant, C. L. (2013). Agricultural Virtual Water Trade and Water Footprint of U.S. States. *Annals of the Association of American Geographers*, 103(2), 385–396. <https://doi.org/10.1080/00045608.2013.756267>
- National Agricultural Statistics Service. (n.d.). CropScape-Cropland Data Layer. Retrieved March 19, 2019, from <https://nassgeodata.gmu.edu/CropScape/>
- National Centers for Environmental Information. (n.d.). Climate at a Glance. Retrieved March 16, 2019, from <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/statewide/time-series>
- Olmstead, A.L., & Rhode, P.W. (2008). *Creating Abundance: Biological Innovation and American Agricultural Development*. Cambridge University Press.
- Olmstead, A. L., & Rhode, P. W. (2017). A History of California Agriculture, (December). Retrieved from <http://giannini.ucop.edu/publications.htm>.
- Pacific Institute. (2011). *The Multiple Benefits of Water Efficiency for California Agriculture*.
- Pahl-Wostl, C. (2017). Governance of the water-energy-food security nexus: A multi-level coordination challenge. *Environmental Science and Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.017>
- PIER. (2006). *Refining Estimates of Water*. Retrieved from <http://www.energy.ca.gov/2006publications/CEC-500-2006-118/CEC-500-2006-118.PDF>
- Pinzon, J. (2013). *Energy Efficiency In Water Reuse And Desalination. Five Individual Projects Which Address Energy Efficiency in both Water Reuse and Desalination Appendices*.
- Reddy, B. V. S., Kumar, A. A., & Ramesh, S. (2007). Sweet sorghum: A Water Saving Bio-Energy Crop. *International Conference on Linkages between Energy and Water Management for Agriculture in Developing Countries*, 1–12.
- Roidt, M., & de Strasser, L. (2018). *Methodology for assessing the water-food-energy-ecosystems nexus in transboundary basins and experiences from its application: synthesis*.
- Shannak, S. et al. (2018). Moving from theory to practice in the water–energy–food nexus: An evaluation of existing models and frameworks. *Water-Energy Nexus*, 1(1), 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2018.04.001>
- Siebert, S. et al. (2010). Groundwater use for irrigation – a global inventory, 1863–1880. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1863-2010>

- Six, J. et al. (2011). Switchgrass is a promising, high-yielding crop for California biofuel. *California Agriculture*, 65(3), 168–173. <https://doi.org/10.3733/ca.e.v065n03p168>
- Stockholm International Water Institute and Elsevier. (2012). *The Water and Food Nexus: Trends and Development of the Research Landscape*.
- Supply and Demand of Natural Gas in California. (n.d.). Supply and Demand of Natural Gas in California. Retrieved March 18, 2019, from [https://www.energy.ca.gov/almanac/naturalgas\\_data/overview.html](https://www.energy.ca.gov/almanac/naturalgas_data/overview.html)
- Sustainable Development Knowledge Platform. (n.d.). Global Warming Solutions Act-State of California. Retrieved March 18, 2019, from <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=99&nr=59&menu=1449>
- The Metropolitan Water District. (n.d.). Colorado River Aqueduct. Retrieved March 17, 2019, from [http://www.mwdh2o.com/AboutYourWater/SourcesOfSupply/Pages/Imported.aspx#tabs-Colorado\\_River\\_Aqueduct](http://www.mwdh2o.com/AboutYourWater/SourcesOfSupply/Pages/Imported.aspx#tabs-Colorado_River_Aqueduct)
- The Water Network. (n.d.). What is Blue, Green and Grey Water? Retrieved March 16, 2019, from <https://thewaternetwork.com/question-0-y/what-is-blue-green-and-grey-water-6uuV13bt8lVovKyD7Andyw>
- Tilley, E. et al. (2014). *Compendium of sanitation systems and technologies* (2nd Revise). Duebendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Retrieved from <http://www.eawag.ch/en/departement/sandec/publications/compendium/>
- Torcellini, P. et al. (2004). Consumptive Water Use for U.S. Power Production.
- U.S. Bureau of Reclamation. (2017). Central Valley Project. Retrieved March 16, 2019, from <https://www.usbr.gov/mp/cvp/>
- U.S. Bureau of Reclamation. (2019). Central Valley Project Water Supply. Retrieved March 16, 2019, from <https://www.usbr.gov/mp/cvp-water/index.html>
- U.S. Energy Information Administration. (n.d.). State Energy Data System (SEDS). Retrieved March 19, 2019, from <https://www.eia.gov/state/seds/seds-data-complete.php?sid=US>
- United Nations. (2014). *Water and Energy* (Vol. 1).
- United Nations University-UNU Flores. (n.d.). The Nexus Approach to Environmental Resource Management. Retrieved March 16, 2019, from <https://flores.unu.edu/en/research/nexus>
- United States Census Bureau. (2012). United States Summary: 2010 Population and Housing Unit Counts, (CPH-2-1). Retrieved from <https://www.census.gov/prod/cen2010/cph-2-1.pdf>
- United States Department of Agriculture. (2014). Farm and Ranch Irrigation Survey ( 2013 ), 3(November).
- USDA-Economic Research Service. (2018). Major Land Uses. Retrieved March 16, 2019, from <https://www.ers.usda.gov/data-products/major-land-uses.aspx>
- USGS. (1995). *Science for a changing world. Water properties and measurements*. Retrieved from <https://water.usgs.gov/edu/characteristics.html>
- USGS California Water Science Center. (2017). California’s Central Valley - Regional Characteristics. Retrieved March 17, 2019, from <https://ca.water.usgs.gov/projects/central-valley/about-central-valley.html>
- Water Education Foundation. (n.d.-a). California Water 101. Retrieved March 16, 2019, from <https://www.watereducation.org/photo-gallery/california-water-101>
- Water Education Foundation. (n.d.-b). Central Valley Project. Retrieved March 16, 2019, from <https://www.watereducation.org/general-information/central-valley-project>
- Williams, R. B. et al. (2007). California Biofuel Goals And Production Potential.
- World Economic Forum Water Initiative. (2011). *Water Security: Water-Food-Energy-Climate Nexus*.
- World Population Review. (n.d.). California Population. Retrieved March 16, 2019, from <http://worldpopulationreview.com/states/california-population/>
- WWDR. (2009). *World Water Development Report 3: Water in a Changing World*, World Water Assessment Program, Earthscan, London, UK
- Zimmer, D.; Renault, D. (2003). Virtual Water In Food Production And Global Trade. *Review Of Methodological Issues And Preliminary Results*, 23(5), 1–19.