



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

Διαχείριση ξηρασίας. Σύγκριση των παραδειγμάτων Καλιφόρνιας (2012-2016) και Αθήνας (1988-1993)



Διπλωματική Εργασία

Αντώνιος Ζούκος

Επιβλέπων: Δημήτρης Κουτσογιάννης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

Διαχείριση ξηρασίας. Σύγκριση των παραδειγμάτων Καλιφόρνιας (2012-2016) και Αθήνας (1988-1993)



Διπλωματική Εργασία

Αντώνιος Ζούκος

Επιβλέπων: Δημήτρης Κουτσογιάννης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2018

Copyright © Ζούκος Αντώνιος, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του Αντώνιου Ζούκου.

Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, 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 στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Zoukos Antonios, 2018

All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Αντώνιος Ζούκος (2018)

Διαχείριση Ξηρασίας.

Σύγκριση των παραδειγμάτων Καλιφόρνιας (2012-2016) και Αθήνας (1988-1993).

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Antonios Zoukos (2018)

Managing Droughts. Comparison between the California (2012-2016) and Athens (1988-1993) incidents.

Department of Water Resources & Environmental Engineering, School of Civil Engineering,
National Technical University of Athens.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας κλείνει ένα δημιουργικό κομμάτι της ζωής μου. Το τέλος αυτό σηματοδοτεί την αρχή για κάτι νέο και ελπιδοφόρο. Η φοίτηση μου στην σχολή πολιτικών μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου ήταν ένα προνόμιο και θα προσπαθήσω να αξιοποιήσω τα εφόδια που έλαβα με τον πιο ωφέλιμο τρόπο.

Θέλω να ευχαριστήσω την σύζυγο μου, Εύη, που με στήριξε σε αυτά τα χρόνια της φοίτησης, τους γονείς μου και τον θείο μου Ιωάννη Ζούκο, που με έχουν στηρίξει διαχρονικά στις επιλογές μου και συνεχίζουν να το κάνουν.

Τέλος να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δημήτρη Κουτσογιάννη για την βοήθεια και καθοδήγηση του σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Αντώνιος Ζούκος

Νοέμβριος 2018

Στον υιό μου Ηλία



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Διαχείριση Ξηρασίας.
Σύγκριση των παραδειγμάτων Καλιφόρνιας (2012-2016) και Αθήνας (1988-
1993)**

Αντώνιος Ζούκος

Επιβλέπων: Δημήτρης Κουτσογιάννης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

Νοέμβριος 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το φαινόμενο της ξηρασίας είναι πολύπλοκο και ακραίο. Μπορεί να εκδηλωθεί τόσο σε άνδρες όσο και σε πλούσιες σε βροχοπτώσεις περιοχές. Κάθε περιοχή αντιλαμβάνεται διαφορετικά την ξηρασία και οι επιπτώσεις της ποικίλλουν. Επίσης η έναρξη και το τέλος ενός περιστατικού ξηρασίας είναι δύσκολο να καθοριστεί. Τα στοιχεία αυτά είναι η αιτία που δεν υπάρχει ένας καθολικά αποδεκτός ορισμός του φαινομένου. Η απουσία ενός καθολικά αποδεκτού ορισμού του φαινομένου της ξηρασίας έχει δημιουργήσει διαφορετικές προσεγγίσεις στην διαχείριση της. Μέσα από παραδείγματα διαχείρισης της ξηρασίας και εν προκειμένω της Καλιφόρνιας (2012-2016) των ΗΠΑ και της Αθήνας (1988-1993), αναδεικνύουμε αυτές τις διαφορετικές προσεγγίσεις, τα αμφισβητήσιμα συμπεράσματα και τις προβληματικές ενέργειες που άγονται από την κατάρτιση μεθοδολογίας βάσει ορισμού. Λόγω πολυπλοκότητας του υδροδοτικού συστήματος της Καλιφόρνιας γίνεται μια περιγραφή των υποδομών που αφορούν την εκμετάλλευση των υδατικών πόρων αλλά και ιστορική αναδρομή της εξέλιξης τους. Η διερεύνηση αυτή μας επιτρέπει να αναγνωρίσουμε τις αδυναμίες του συστήματος, για να μπορέσουμε να σχολιάσουμε στην συνέχεια την διαχείριση του περιστατικού της ξηρασίας. Σχολιάζοντας αυτά τα παραδείγματα διαχείρισης και συνδέοντας τον ορισμό της ξηρασίας με αυτά, καταλήγουμε σε σημαντικά συμπεράσματα για την λήψη των αποφάσεων κατά περίπτωση. Τέλος προτείνουμε την χρήση ενός ενιαίου ορισμού για την κατάρτιση ενός επιχειρησιακού - διαχειριστικού σχεδίου.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF WATER RESOURCES & ENVIRONMENTAL ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

Managing Droughts. Comparison between the California (2012-2016) and Athens (1988-1993) incidents.

Antonios Zoukos

Supervisor: Dr. Demetris Koutsoyiannis, Professor of NTUA

November 2018

ABSTRACT

Drought is an extreme and complicated phenomenon. Drought occurs both in high- and in low-rainfall areas. Each area perceives the phenomenon differently and its effects vary. Also it is hard to determine the start and the end of a drought incident. The variance of the drought characteristics which differ from area to area make a universal definition of drought impossible. The absence of this universal definition has made historically different approaches in management plans and policies for a drought. By examining the drought incidents of California (2012-2016) and Athens (1988-1993), we highlight those different approaches, the disputable assessments and ad hoc solutions, which are based on the definition. Due to the complicity of the California water system, we describe and examine the water infrastructure and the historical evolution of water management, in order to recognize the weaknesses of the California water system. As we assess the system we proceed to the comparison and assessment of the drought management plans. Through this procedure, we make important remarks about decision making and drought management. Finally we suggest a definition for the drought concept for the creation of drought management plans.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<i>Ευρετήριο Εικόνων</i>	17
<i>Ευρετήριο Χαρτών</i>	18
<i>Ευρετήριο Πινάκων</i>	20
Εισαγωγή	23
1 Ξηρασία : Ένα ακραίο κλιματικό φαινόμενο	27
1.1 Ορισμός Ξηρασίας.....	27
1.2 Τύποι Ξηρασίας	31
1.3 Χαρακτηριστικά Ξηρασίας.....	35
1.3.1 Ένταση	35
1.3.2 Διάρκεια.....	35
1.3.3 Χωρική Κατανομή	35
1.3.4 Καταστροφικότητα	36
1.3.5 Εμμονή.....	36
1.4 Επιπτώσεις Ξηρασίας	37
1.4.1 Επιπτώσεις στο Περιβάλλον :	37
1.4.2 Επιπτώσεις στην Κοινωνία.....	38
1.4.3 Επιπτώσεις στην Οικονομία	38
1.5 Αίτια Ξηρασίας	39
1.5.1 Αλλαγές στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας.....	39
1.5.2 Φαινόμενο El-Niño.....	40
1.5.3 Αστρονομικοί Παράγοντες	41
1.6 Δείκτες Ξηρασίας.....	43
1.6.1 Palmer Drought Severity Index (PDSI)	46
1.6.2 Deciles (Δείκτης δεκατημορίων).....	48
1.6.3 Reconnaissance Drought Index (RDI).....	49
1.6.4 Standardized Precipitation Index (SPI).....	50
2 Περιοχή μελέτης – Δεδομένα	51
2.1. Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά και άλλα στοιχεία της Καλιφόρνιας.....	51
2.1.1 Κύριοι ποταμοί – η διαδρομή του νερού	52
2.1.2 Κλίμα.....	54
2.1.3 Ξηρασία στην Καλιφόρνια	57
2.1.4 Οικονομία της Καλιφόρνιας	59
2.1.5 Το νομικό καθεστώς του νερού στην Καλιφόρνια	61
2.2 Ιστορική αναδρομή – η εξέλιξη του συστήματος διαχείρισης υδατικών πόρων της Καλιφόρνιας...	63
2.2.1 Τα πρώτα χρόνια της πολιτείας.....	63
2.2.2 Εξέλιξη του αρδευτικού συστήματος της Καλιφόρνιας	68
2.2.3 Εξέλιξη του υδρευτικού συστήματος της Καλιφόρνιας	72
2.3 Περιγραφή του υδροδοτικού συστήματος της Καλιφόρνιας	77

2.3.1	Central Valley Project (CVP).....	77
2.3.2	State Water Project (SWP).....	81
2.3.3	Hetch Hetchy Project	85
2.3.4	Los Angeles Aqueduct (υδραγωγείο του Los Angeles)	86
2.3.5	Εγκαταστάσεις του ποταμού Colorado	88
2.4	<i>Αποτίμηση του υδροδοτικού συστήματος της Καλιφόρνιας – Κύρια προβλήματα</i>	<i>92</i>
2.4.1	Υπόγεια Ύδατα στην Καλιφόρνια.....	92
2.4.2	Υφαλμυριση στο δέλτα του San Francisco.	98
3	Διαχείριση ξηρασίας	101
3.1	<i>Βιβλιογραφική επισκόπηση διαχείρισης ξηρασίας</i>	<i>101</i>
3.2	<i>Περιστατικό ξηρασίας στην Καλιφόρνια (2012-2016)</i>	<i>107</i>
3.2.1	Ιστορικό του Περιστατικού	107
3.2.2	Διαχείριση του Περιστατικού	130
3.2.3	Σχολιασμός	133
3.3	<i>Περιστατικό ξηρασίας στην Αθήνα (1988-1993).....</i>	<i>138</i>
3.3.1	Σύντομη περιγραφή του υδροδοτικού της Αθήνας.....	138
3.3.2	Ιστορικό του περιστατικού	141
3.3.3	Διαχείριση του περιστατικού	146
3.3.4	Σχολιασμός	148
4	Σύγκριση Διαχειριστικών Πρακτικών - Συμπεράσματα	151
	Βιβλιογραφία	153

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2–1: Ο νερόμυλος που κατασκεύασε ο J.W.Marshall όπου ανακάλυψε και τις νιφάδες χρυσού (πηγή : U.S Congress Library, ανάκτηση 2018)	63
Εικόνα 2–2: Άποψη χρυσορύχων στην Καλιφόρνια στο διάστημα 1857 -1870 (πηγή : Denver Public Library U.S, ανάκτηση 2018).....	64
Εικόνα 2–3: Φωτογραφία του Hoover Dam από τον Ansel Adams την περίοδο 1941-1942 (πηγή :Wikipedia, ανάκτηση 2018).....	69
Εικόνα 2–4: Φωτογραφία από τις εκλογές της τοπικής αυτοδιοίκησης στην πόλη San Jose (πηγή: watereducation.org, ανάκτηση 2018).....	71
Εικόνα 2–5: Φωτογραφία από το εργοτάξιο του Hetch Hetchy Dam 1914 (πηγή: library.usgs.gov, ανάκτηση 2018)	75
Εικόνα 2–6: Φωτογραφία του Hetch Hetchy Dam 1923 (πηγή:Wikipedia, ανάκτηση 2018)	75
Εικόνα 2–7: Άποψη των εγκαταστάσεων του C.W. Bill Jones Pumping Plant από τον δορυφόρο (πηγή :Google Earth).....	80
Εικόνα 2–8: Διάγραμμα με την διαδρομή του SWP (πηγή : California Department of water resources, ανάκτηση 2018).....	83
Εικόνα 2–9: Άποψη των εγκαταστάσεων του έργου Harvey O. Banks από τον δορυφόρο (πηγή :Google Earth).....	83
Εικόνα 2–10: : Φωτογραφία του έργου Edmonston Pumping Plant και απεικόνιση της διαδρομής του νερού (πηγή: mavensphotoblog.com, ανάκτηση 2018).....	84
Εικόνα 2–11: Φωτογραφία της θέσης με την μεγαλύτερη καθίζηση στην San Joaquin Valley νοτιοδυτικά της Mendota. (πηγή: U.S Geological Survey, ανάκτηση 2018).	96
Εικόνα 3–1: Ο υδρο(παρα)λογικός κύκλος της ξηρασίας (Klimes, 1990). (πηγή :National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, ανάκτηση 2018)	101
Εικόνα 3–2: Οι περίφημες shade balls πάνω στον ταμιευτήρα του Los Angeles φωτογραφία από Gene Blevins (πηγή: National Geographic, ανάκτηση 2018)	134
Εικόνα 3–3: Γενική διάταξη του υδροδοτικού συστήματος των Αθηνών (πηγή: Xenos et al.,2002)	138
Εικόνα 3–4: Σχηματική παρουσίαση του υδροδοτικού συστήματος των Αθηνών (πηγή : Μακρόπουλος, κ.α, 2010)	139
Εικόνα 3–5: Χρονική εξέλιξη ανηγμένου αποθέματος (αριθμός μηνών που μπορεί να καλύψει την κατανάλωση). (πηγή: Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007)	142
Εικόνα 3–6: Χρονική εξέλιξη των ετήσιων βροχοπτώσεων α) Αλίαρτος, β) Λιδορίκι, αλλά και των απορροών γ) Βοιωτικός Κηφισός, δ) Μόρνος κατά την επταετία 1987-1994. Με συνεχείς γραμμές οι μέσες ετήσιες τιμές (πηγή : Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007).....	143
Εικόνα 3–7: Συγκριτική εικόνα των μηνιαίων βροχοπτώσεων της επταετίας σε σχέση με τον ιστορικό μέσο για την α) Αλίαρτο και β) Λιδορίκι (πηγή: Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007).	145
Εικόνα 3–8: Επίδραση της τιμής του νερού στην κατανάλωση της πόλης των Αθηνών (πηγή : Κουτσογιάννης κ.α, 2003)	148
Εικόνα 3–9: Χρονική εξέλιξη αποθεμάτων ταμιευτήρων και κατανάλωσης (πηγή: Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007)	149
Εικόνα 3–10: Περίοδοι επαναφοράς της ελάχιστης απορροής του Βοιωτικού Κηφισού για χρονικές κλίμακες 1-10 ετών (πηγή: Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007)	150

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 2-1: Γεωλογικός χάρτης της πολιτείας Καλιφόρνια (πηγή: Salonen 2007).....	51
Χάρτης 2-2: Γεωλογικός χάρτης της πολιτείας Καλιφόρνια με τους κύριους ποταμούς (πηγή: California Department of Water Resources, 2015).....	52
Χάρτης 2-3: Γεωλογικός χάρτης της πολιτείας Καλιφόρνια με τους υπόγειους υδροφορείς (πηγή: California Department of Water Resources, 2015).....	53
Χάρτης 2-4: Χάρτης με τις επιλεγμένες τοποθεσίες	55
Χάρτης 2-5: Χάρτης όπου αποτυπώνονται με τα ύψη βροχόπτωσης στην πολιτεία της Καλιφόρνιας (πηγή: U.S Geological Survey, 2018).....	56
Χάρτης 2-6: Χάρτης του δέλτα των ποταμών Sacramento και San Joaquin (πηγή: Department of Water Resources CA U.S, 1995)	66
Χάρτης 2-7: Χάρτης με την εξέλιξη των υγροτόπων στην Καλιφόρνια (Hanak et al, PPIC 2011)	67
Χάρτης 2-8: Χάρτης που απεικονίζει τις θέσεις των έργων Hoover Dam, Parker Dam, Imperial Dam & All-American Canal 1930 (πηγή: University of California, Los Angeles Library, ανάκτηση 2018).....	70
Χάρτης 2-9: Χάρτης με τις περιοχές που εξυπηρετούνται από το CVP (πηγή: ca.water.usgs.gov, ανάκτηση 2018)	72
Χάρτης 2-10: Τοπογραφικό διάγραμμα του 1908 με την διάταξη του Los Angeles Aqueduct (πηγή : Library of Congress, ανάκτηση 2018).....	73
Χάρτης 2-11: Χάρτης με την διάταξη του Hetch Hetchy Project (πηγή: mavensnotebook.com, ανάκτηση 2018)	74
Χάρτης 2-12: Χάρτης του CVP (πηγή : U.S Bureau of Reclamation, ανάκτηση 2018)	78
Χάρτης 2-13: Χάρτης με τις κύριες εγκαταστάσεις του SWP (πηγή : California Department of water resources, ανάκτηση 2018).....	81
Χάρτης 2-14: Χάρτης με τις κύριες εγκαταστάσεις του Hetch Hetchy Project (πηγή : California Department of water resources, ανάκτηση 2018).....	85
Χάρτης 2-15: Χάρτης με τις κύριες εγκαταστάσεις του Los Angeles Aqueduct (πηγή : Los Angeles Department of Water & Power, ανάκτηση 2018)	86
Χάρτης 2-16: Χάρτης με τις κύριες εγκαταστάσεις του Los Angeles Aqueduct (πηγή : U.S Bureau of Reclamation, ανάκτηση 2018)	88
Χάρτης 2-17: Χάρτης και μηκοτομή του Colorado River Aqueduct (πηγή: mavensnotebook.com, ανάκτηση 2018)	89
Χάρτης 2-18: Χάρτης του All-American Canal System (πηγή: International Boundary and Water Commission, 2007)	90
Χάρτης 2-19: Χάρτης με τις υδρολογικές λεκάνες και τους υπόγειους υδροφορείς (πηγή: California Groundwater update 2013, 2015).....	93
Χάρτης 2-20: Χάρτης με την μεταβολή της στάθμης και αποθηκευτικότητας των υπόγειων υδροφορέων στην περιοχή της Central Valley για τις χρονιές 2005-2010(πηγή: California Water Plan Update 2013) 94	
Χάρτης 2-21: Χάρτης με τους υπόγειους υδροφορείς που γίνεται υπεράντληση (πορτοκαλί) (πηγή: California Groundwater Update 2013)	95
Χάρτης 2-22: Χάρτης με τις καθιζήσεις στο νότιο κομμάτι στην περιοχή της Central Valley (πηγή: U.S Geological Survey, ανάκτηση 2018)	97
Χάρτης 2-23: Χάρτης με την είσοδο του αλμυρού νερού τις χρονιές 1921-1943 (πηγή: California Department of Water Resources, 2015).....	99
Χάρτης 2-24: Χάρτης με την είσοδο του αλμυρού νερού τις χρονιές 1944-1990 (πηγή: California Department of Water Resources, 2015).....	100
Χάρτης 3-1: Χάρτης κατάστασης ξηρασίας στην Καλιφόρνια 06-10-2009 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του U.S Drought Monitor).....	107

Χάρτης 3-2: Χάρτης κατάστασης ξηρασίας στην Καλιφόρνια την 01-10-2013 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του U.S Drought Monitor).....	113
Χάρτης 3-3: Χάρτης κατάστασης ξηρασίας στην Καλιφόρνια την 01-10-2014 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του U.S Drought Monitor).....	118
Χάρτης 3-4: Χάρτης κατάστασης ξηρασίας στην Καλιφόρνια την 06-10-2015 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του U.S Drought Monitor).....	121
Χάρτης 3-5: Χάρτης κατάστασης ξηρασίας στην Καλιφόρνια την 04-10-2016 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του U.S Drought Monitor).....	122

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1-1: Διάγραμμα εξέλιξης τύπων ξηρασίας και αλληλεπίδραση μεταξύ τους [E.E, MEDAWater, MEDROPLAN, 2013].....	33
Πίνακας 1-2: Διάγραμμα εξέλιξης της ξηρασίας και των επιπτώσεων της (πηγή :National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, ανάκτηση 2018)	33
Πίνακας 1-3: Διάγραμμα οικολογικής ξηρασίας στον 21ο αιώνα (Crausbay et al., 2017)	34
Πίνακας 1-4 Δείκτες ξηρασίας και τα χαρακτηριστικά τους από Iglesias et al.,(2007a)(πηγή: E.E., MEDAWater, MEDROPLAN (2006))	44
Πίνακας 1-5: Πίνακας με τις κλάσεις των Deciles.....	49
Πίνακας 1-6: Πίνακας ταξινόμησης ξηρασίας με βάση τον δείκτη SPI,(πηγή : Κωτσοβίνος & Αγγελίδης, 2009)	50
Πίνακας 2-1: Πίνακας με μέση υψηλή/χαμηλή θερμοκρασία σε °C	54
Πίνακας 2-2: Πίνακας με τα έτη ξηρασίας και την διάρκειά τους σύμφωνα με τις απορροές των ποταμών Sacramento και San Joaquin (Meko et al.,2014)	58
Πίνακας 2-3: Η συνεισφορά του κάθε τομέα στο ΑΕΠ της Καλιφόρνιας από δεδομένα του Bureau of Economic Analysis U.S Department of Commerce (2018)	59
Πίνακας 2-4: Η ποσοστιαία συνεισφορά του κάθε οικονομικού τομέα στο ΑΕΠ της πολιτείας της Καλιφόρνιας από δεδομένα του Bureau of Economic Analysis U.S Department of Commerce, (2018) 60	
Πίνακας 2-11: Πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κύριων ταμιευτήρων του CVP (πηγή : U.S Bureau of Reclamation, ανάκτηση 2018)	79
Πίνακας 2-12: Πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κύριων υδραγωγείων του CVP (πηγή : U.S Bureau of Reclamation, ανάκτηση 2018)	79
Πίνακας 2-14: Πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υδροηλεκτρικών σταθμών του CVP (πηγή : U.S Bureau of Reclamation, ανάκτηση 2018)	80
Πίνακας 2-18: Πίνακας με την ποσοστιαία χρήση υπόγειων υδάτων ανά κατηγορία χρήσης και υδρολογική λεκάνη (πηγή: California Groundwater update 2013, 2015)	92
Πίνακας 3-2: Μεθοδολογία σχεδίου διαχείρισης της ξηρασίας (E.E., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006)	103
Πίνακας 3-3: Κατάσταση των κύριων ταμιευτήρων της Καλιφόρνιας την 01-10-2011 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	108
Πίνακας 3-4: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2011 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	109
Πίνακας 3-5: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2012 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	110
Πίνακας 3-6: Η κατάσταση των κύριων ταμιευτήρων της Καλιφόρνιας την 01-10-2013 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	111
Πίνακας 3-7: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2013 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	112
Πίνακας 3-8: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2014 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	116
Πίνακας 3-9: Η κατάσταση των κύριων ταμιευτήρων της Καλιφόρνιας την 01-10-2014 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	117
Πίνακας 3-10: Διάγραμμα μέσης ετήσιας θερμοκρασίας για τα έτη 1875-2014 (πηγή : NOAA, ανάκτηση 2018)	118
Πίνακας 3-11: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2015 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	119
Πίνακας 3-12: Η κατάσταση των κύριων ταμιευτήρων της Καλιφόρνιας την 01-10-2015 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	120

Πίνακας 3-13: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2016 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	123
Πίνακας 3-14: Η κατάσταση των κύριων ταμιευτήρων της Καλιφόρνιας την 01-10-2016 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	124
Πίνακας 3-15: Διάγραμμα: ύψη βροχής για τα έτη 2010-2017 από Northern Sierra, 8-Station Index (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR).....	125
Πίνακας 3-16: Διάγραμμα: ύψη βροχής για τα έτη 2010-2017 από Tulare Basin, 6-Station Index (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	126
Πίνακας 3-17: Διάγραμμα: ύψη βροχής για τα έτη 2010-2017 από San Joaquin, 5-Station Index (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	127
Πίνακας 3-18: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2017 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	128
Πίνακας 3-19: Η κατάσταση των κύριων ταμιευτήρων της Καλιφόρνιας την 01-10-2016 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)	129
Πίνακας 3-21: Συνοπτικά στοιχεία κύριων υδραγωγείων (πηγή : Μακρόπουλος, κ.α, 2010)	140
Πίνακας 3-22: Ποσοστά απορροής και βροχόπτωσης σε σχέση με τον ιστορικό μέσο (πηγή: Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007)	143
Πίνακας 3-23: Ποσοστό(%) μεταβολής της τιμής νερού για διάφορες κατηγορίες κατανάλωσης (πηγή :Ε.ΥΔ.Α.Π, 2000)	147
Πίνακας 4-1: Συνοπτικός πίνακας διαχειριστικών πρακτικών	151

τῆς παιδείας ἔφη τὰς μὲν ρίζας εἶναι πικράς, γλυκεῖς δὲ τοὺς καρπούς
(*αποδίδεται στον Αριστοτέλη από τον Διογένη Λαέρτιο, VITIS PHILOSOPHORUM, LIBRI*
X,1833)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ξηρασίες ποικίλης έντασης και διάρκειας έχουν πλήξει τις περισσότερες περιοχές του πλανήτη κατά καιρούς. Το φαινόμενο της ξηρασίας είναι ένα επαναλαμβανόμενο φαινόμενο του κλίματος και κατατάσσεται στα ακραία φαινόμενα (Bryant, 1991). Μπορεί να εμφανιστεί τόσο σε άνυδρες όσο και σε περιοχές πλούσιες σε βροχόπτωση και σε οποιαδήποτε εποχή. Η χρονική διάρκεια του ποικίλει, για παράδειγμα στο Μπαλί έξι ημέρες χωρίς βροχή λογίζεται ως ξηρασία ενώ αντίστοιχα στην Λιβύη η περίοδος είναι περίπου δύο έτη χωρίς βροχή (Hundon and Hazen, 1967). Επίσης διαφέρει από άλλα ακραία φαινόμενα, όπως ο σεισμός, ο τυφώνας και η πλημμύρα διότι δεν καταστρέφει υποδομές και δεν απειλεί άμεσα την ανθρώπινη ζωή. Σε μια περίοδο ξηρασίας οι άνθρωποι δεν απειλούνται από το ίδιο το φαινόμενο αλλά από τα επακόλουθα αυτής που είναι έλλειψη τροφής, νερού και υγιεινής. Τέλος οι επιπτώσεις του φαινομένου της ξηρασίας δεν γίνονται άμεσα αντιληπτές, παρουσιάζουν μια υστέρηση στην εμφάνιση τους και διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Ο διαφορετικός τρόπος εκδήλωσης του φαινομένου από περιοχή σε περιοχή, οι ιδιαιτερότητες των επιπτώσεων, είναι ο λόγος που δεν υπάρχει ένας καθολικά αποδεκτός ορισμός του φαινομένου. Η επιστημονική κοινότητα έχει δώσει έμφαση στα χαρακτηριστικά του φαινομένου, έχει ορίσει τύπους ξηρασίας και έχει κατασκευάσει στατιστικούς δείκτες ξηρασίας για να εκτιμήσει τις επιπτώσεις του. Κοινό στοιχείο των τύπων ξηρασίας είναι το έλλειμα βροχοπτώσεων.

Η διαχείριση του φαινομένου της ξηρασίας, είναι διαδικασία δύσκολη, απαιτητική και με μεγάλη ευθύνη για τον διαχειριστή. Οι χειρότερες καταγίδες μπορεί να σκοτώσουν μερικές εκατοντάδες ανθρώπους, όμως η ξηρασία του 1770 στην Ινδία κόστισε τη ζωή σε 10 000 και στην Κίνα το 1878 σε 10 000 000 ανθρώπους (Clarke et al., 1989), οι ξηρασίες της δεκαετίας του 1980 στην υποσαχάρια Αφρική υπολογίζεται ότι έβλαψαν περισσότερους από 40 000 000 ανθρώπους (Office of Foreign Disaster Assistance, 1990). Επίσης, είναι μια από τις πιο ακριβές φυσικές καταστροφές στις σύγχρονες ανεπτυγμένες κοινωνίες, όπου ένα μεγάλο μέρος της οικονομίας βασίζεται στη γεωργία (FEMA, 1995), «η ακριβότερη φυσική καταστροφή στον κόσμο» (Wilhite, 2000).

Η απουσία ενός καθολικά αποδεκτού ορισμού του φαινομένου της ξηρασίας έχει δημιουργήσει διαφορετικές προσεγγίσεις στην διαχείριση της. Μέσα από παραδείγματα διαχείρισης της ξηρασίας και εν προκειμένω της Καλιφόρνιας (2012-2016) των ΗΠΑ και της

Αθήνας (1988-1993), αναδεικνύουμε αυτές τις διαφορετικές προσεγγίσεις, τα αμφισβητήσιμα συμπεράσματα και τις προβληματικές ενέργειες που άγονται από την κατάρτιση μεθοδολογίας βάσει ορισμού.

Λόγω πολυπλοκότητας του υδροδοτικού συστήματος της Καλιφόρνιας γίνεται μια περιγραφή των υποδομών που αφορούν την εκμετάλλευση των υδατικών πόρων αλλά και ιστορική αναδρομή της εξέλιξης τους. Η διερεύνηση αυτή μας επιτρέπει να αναγνωρίσουμε τις αδυναμίες του συστήματος, για να μπορέσουμε να σχολιάσουμε στην συνέχεια την διαχείριση του περιστατικού της ξηρασίας.

Σχολιάζοντας αυτά τα παραδείγματα διαχείρισης και συνδέοντας τον ορισμό της ξηρασίας με αυτά, καταλήγουμε σε σημαντικά συμπεράσματα για την λήψη των αποφάσεων κατά περίπτωση. Τέλος προτείνουμε την χρήση ενός ενιαίου ορισμού για την κατάρτιση ενός επιχειρησιακού - διαχειριστικού σχεδίου.

ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική εργασία αποτελείται, μαζί με την παρούσα εισαγωγή, από πέντε κεφάλαια

Στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται βιβλιογραφική επισκόπηση του φαινομένου της ξηρασίας, σε επίπεδο ορισμού, χαρακτηριστικών, επιπτώσεων και αιτιών εμφάνισης ξηρασίας. Τέλος γίνεται επισκόπηση των εργαλείων και μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των παραμέτρων της ξηρασίας.

Στο **Κεφάλαιο 2** περιγράφονται τα γεωγραφικά, υδρολογικά και οικονομικά χαρακτηριστικά της Καλιφόρνιας. Κατόπιν γίνεται ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των υποδομών του συστήματος υδατικών πόρων της περιοχής και περιγραφή του συστήματος σήμερα. Τέλος περιγράφονται οι κύριες αδυναμίες των υποδομών αυτών.

Στο **Κεφάλαιο 3** περιγράφονται τα περιστατικά ξηρασίας της Καλιφόρνιας (2012-2016) και της Αθήνας (1988-1993) και η διαχείριση αντίστοιχα.

Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται σύγκριση των δύο παραδειγμάτων και συνοψίζονται τα συμπεράσματα της όλης μελέτης.

1 ΞΗΡΑΣΙΑ : ΈΝΑ ΑΚΡΑΙΟ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

(ἀρχή παιδεύσεως ἢ τῶν ὀνομάτων ἐπίσκεψις , αποδίδεται στον Σωκράτη από τον Επίκτητο, Επίκτητου Διατριβαί , μέρος πρώτον, κεφάλαιον ιζ', σελ. 42-43)

Προκείμενου να αναλύσουμε το φαινόμενο της ξηρασίας και να προχωρήσουμε σε διερεύνηση μεθόδων διαχείρισης του είναι λογικό και επιστημονικά ορθό να αναζητήσουμε ένα ορισμό που να το περιγράφει επαρκώς. Η επιστημονική κοινότητα δεν έχει συναινέσει έναν ενιαίο ορισμό του φαινομένου της ξηρασίας.

Μια προσέγγιση γίνεται από τον Wallen όπου γίνεται αντιπαραβολή του φαινομένου της ξηρασίας με την ξηρότητα και την λειψυδρία.

«Η ξηρασία διαφέρει τόσο από την λειψυδρία όσο και από την ξηρότητα καθώς αναφέρεται σε μια παροδική κατάσταση του κλίματος που χαρακτηρίζεται από σημαντική ελάττωση του νετού και ειδικότερα της βροχόπτωσης, σε μια περιοχή, ενώ η λειψυδρία αναφέρεται σε μια μόνιμη κατάσταση ανισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης των υδατικών πόρων, ενώ η ξηρότητα αναφέρεται σε ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα του κλίματος, το οποίο σε μόνιμη κατάσταση, παρουσιάζει μειωμένη βροχόπτωση, η οποία δεν φτάνει για τη διατήρηση της βλάστησης» (Wallen, 1967).

Μία άλλη προσέγγιση έγινε από τους Dracup, et al., (1980) όπου κατέληξε στο συμπέρασμα ότι λόγω των αρκετών παραμέτρων που εμπλέκονται στην μελέτη του φαινομένου της ξηρασίας (βροχόπτωση, παροχή απορροών, η υγρασία του εδάφους, χιονόπτωση) αλλά και το μεγάλο εύρος τιμών των παραμέτρων για κάθε περιοχή (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, περίοδος επαναφοράς κ.λ.π) θα πρέπει ο ορισμός του φαινομένου να είναι τοπικού χαρακτήρα, να επικεντρωθούμε στα τοπικά χαρακτηριστικά του και στην συνέχεια να μελετώνται οι στατιστικοί δείκτες των χαρακτηριστικών του φαινομένου (ένταση, διάρκεια, χωρική κατανομή, καταστροφικότητα).

Εν συνεχεία βασιζόμενοι στην προσέγγιση των παραπάνω οι Wilhite & Glantz (1985) (η οποία θεωρείται ως σημείο αναφοράς για την μελέτη του φαινομένου της ξηρασίας) συγκρίνουν πάνω από 150 ορισμούς του φαινομένου της ξηρασίας και καταλήγουν στα παρακάτω:

- 1 Η απουσία ενός σαφούς και αντικειμενικού ορισμού της ξηρασίας σε συγκεκριμένο περιστατικό ήταν εμπόδιο στο να κατανοηθεί το φαινόμενο το οποίο εν συνεχεία οδηγούσε στην αδράνεια ή/και απραξία όσον αφορά την διαχείριση του.
- 2 Δεν υπάρχει (ούτε πρέπει) ένας ενιαίος ορισμός ξηρασίας
- 3 Οι υφιστάμενοι ορισμοί δείχνουν την πολύπλευρη επιρροή της ξηρασίας
- 4 Είναι αναγκαίο και χρήσιμο να κατηγοριοποίηση της ξηρασίας σε τέσσερις κατηγορίες (μετεωρολογική - κλιματική, γεωργική, υδρολογική, κοινωνικοοικονομική) ανάλογα με τον σκοπό της προσέγγισης
- 5 Η ξηρασία είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο με μεγάλες κοινωνικές επιπτώσεις
- 6 Η καταστροφικότητα της ξηρασίας εκφράζεται μέσα από τις κοινωνικές επιπτώσεις διότι είναι αρκετά δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν οι επιπτώσεις στο περιβάλλον
- 7 Οι επιπτώσεις της ξηρασίας μπορεί να εκτείνονται πέρα από τα όρια περιοχής φυσικής επιρροής
- 8 Οι επιπτώσεις της ξηρασίας μπορεί να διαρκέσουν αρκετά χρόνια μετά την λήξη του επεισοδίου
- 9 Ο ανθρώπινος και ο κοινωνικός παράγοντας συχνά εντείνει τις επιπτώσεις της ξηρασίας
- 10 Η ξηρασία είναι ένα δυναμικό φαινόμενο με μια σχέση προσφοράς – ζήτησης υδατικών πόρων και από την ζήτηση προκύπτουν οι επιπτώσεις
- 11 Μη επαρκής κατανόηση του φαινομένου και η υποτίμηση των επιπτώσεων της ξηρασίας τόσο σε επίπεδο περιβάλλοντος όσο σε κοινωνικό επίπεδο από την επιστημονική κοινότητα και τις κυβερνήσεις θα έχει σοβαρές παγκόσμιες επιπτώσεις για το μέλλον καθώς η ψαλίδα μεταξύ παραγωγής τροφής και κατανάλωσης ολοένα και κλείνει

Παρατηρούμε ότι το σημείο (2) αντίκειται στην ρήση του Σωκράτη. Το γεγονός ότι πάνω από 150 ορισμοί απέτυχαν να δώσουν αυτόν τον καθολικά αποδεκτό ορισμό, δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχει ούτε πρέπει να υπάρχει. Πράγματι αν επικεντρωθούμε στο φαινόμενο ξηρασίας είναι πιθανώς αδύνατον να δώσουμε ένα καθολικό ορισμό, για τους λόγους που ανέφερε ο Dracup. Αντί αυτού θα πρέπει να επικεντρωθούμε στον ορισμό της έννοιας της ξηρασίας και όχι του φαινομένου.

Φαινόμενο (το) ⇒ οτιδήποτε συλλαμβάνει η συνείδηση του ανθρώπου μέσω των αισθήσεων του.

Έννοια (η) ⇒ μονάδα γνώσης που δημιουργείται στο νου από ένα μοναδικό συνδυασμό χαρακτηριστικών.

Η διαφορά μεταξύ των λέξεων, αν και συχνά εσφαλμένα τις χρησιμοποιούμε για τον ίδιο σκοπό, είναι ότι το *φαινόμενο* περιγράφεται σε αντιδιαστολή με την *έννοια* η οποία ορίζεται. Σε συνέχεια του συλλογισμού για να εξυπηρετήσουμε την *των ονομάτων επίσκεψις*, δηλαδή την έρευνα των λέξεων θα πρέπει να ορίσουμε την έννοια της ξηρασίας. Ο ορισμός της έννοιας της ξηρασίας είναι αναγκαίος για την μελέτη των φαινομένων της ξηρασίας. Αυτό είναι απαραίτητο γιατί όπως σημειώνει ο Yevjevich «η απουσία ενός καθολικά αποδεκτού ορισμού υπήρξε το κυριότερο εμπόδιο στην διερεύνηση της ξηρασίας». Επίσης η απουσία του ορισμού μπορεί να οδηγήσει σε σύγχυση μεταξύ των διαχειριστών σε ένα περιστατικό ξηρασίας, η οποία σε συνέχεια μπορεί να οδηγήσει σε αδράνεια, απραξία ή σε ad hoc λύσεις με ελλιπή γνώση των συνεπειών των αποφάσεων (Yevjevich, 1967).

Συνεπώς η έννοια θα πρέπει συμπεριλαμβάνει όλα τα φαινόμενα και ταυτόχρονα θα είναι οδηγός για την διαχείριση ενός περιστατικού ξηρασίας. Μια τέτοια προσέγγιση είναι αυτή των Κουτσογιάννη και Μαμάση και διατυπώνεται ως εξής:

Ο όρος ξηρασία (drought) περιγράφει μια μακρά χρονική περίοδο, κατά την οποία η παρουσία του γλυκού νερού σε μια γεωγραφική περιοχή είναι σημαντικά μικρότερη από την αναμενόμενη. (Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007).

Η αναμενόμενη παρουσία γλυκού νερού σε μια περιοχή εξαρτάται (Μαμάσης & Ευστρατιάδης, 2012):

- την είσοδο του από την ατμόσφαιρα με τη διεργασία της κατακρήμνισης (βροχόπτωση, χιονόπτωση) η οποία εξαρτάται από το κλιματικό καθεστώς της περιοχής
- την κίνηση του στο έδαφος και το υπέδαφος (παροχή ποταμών και πηγών) και την δυνατότητα αποθήκευσης του (εδαφική υγρασία, φυσικές και τεχνητές λίμνες και υπόγειοι υδροφορείς)

- τις απαιτήσεις νερού για την κάλυψη των τοπικών αναγκών όπως άρδευση καλλιεργειών, ύδρευση ανθρώπων και ζώων, υδροηλεκτρική ενέργεια, λειτουργία της βιομηχανίας, παροχή για τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος, αναψυχή και ναυσιπλοΐα σε ποτάμια και λίμνες.

Έχοντας δώσει ορισμό της έννοιας ξηρασία είναι εύκολο να αποφύγουμε την σύγχυση παρανόηση των παρακάτω:

- Ξηρότητα, που περιγράφει μια φυσική μόνιμη κλιματική κατάσταση με πολύ χαμηλές ετήσιες ή εποχιακές βροχοπτώσεις.
- Έλλειμμα νερού, που περιγράφει μια ανθρωπογενή προσωρινή ανισορροπία στη διαθεσιμότητα του ύδατος.
- Ανομβρία, που περιγράφει μια φυσική εποχιακή κλιματική κατάσταση με πολύ χαμηλές ετήσιες ή εποχιακές βροχοπτώσεις.
- Ερημοποίηση, που περιγράφει μια επιταχυνόμενη διαδικασία υποβάθμισης του περιβάλλοντος που το καθιστά αφιλόξενο για οποιαδήποτε παραγωγική διαδικασία.
- Λειψυδρία (water scarcity) περιγράφει την αδυναμία πλήρους κάλυψης των υδατικών αναγκών σε νερό που έχουν οι ανθρώπινες δραστηριότητες και το περιβάλλον (Μαμάσης και Ευστρατιάδης, 2012).

1.2 ΤΥΠΟΙ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

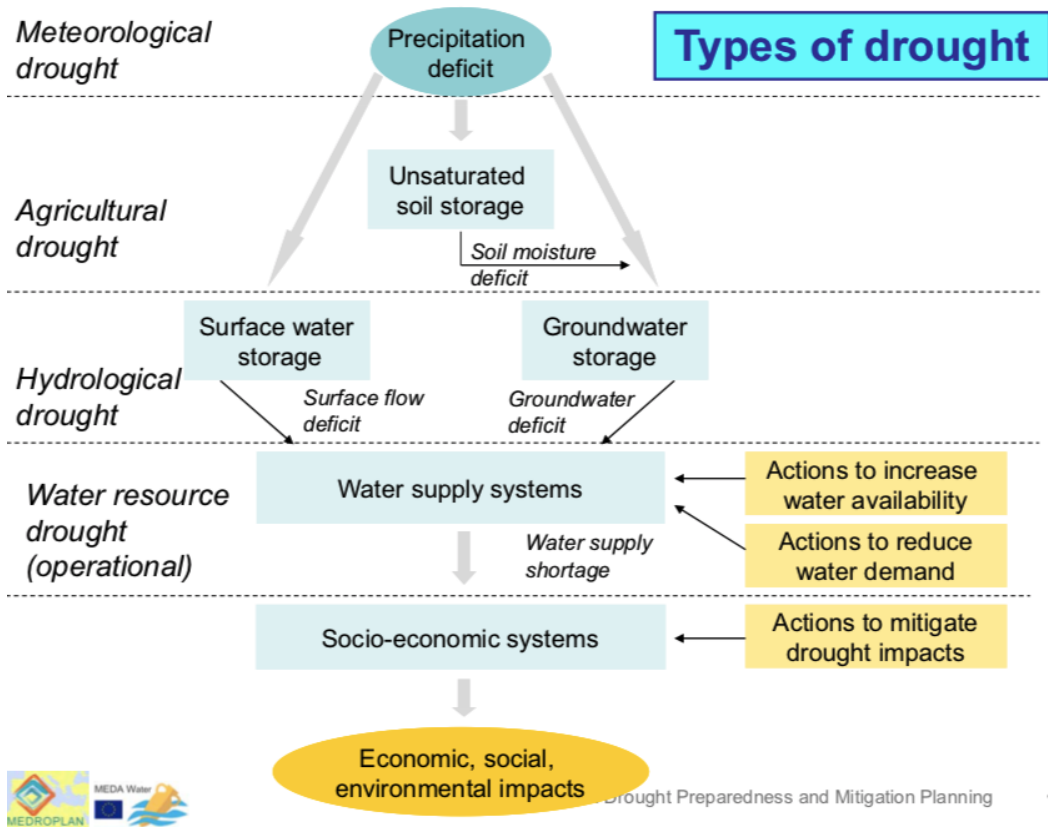
Σε συνέχεια της βιβλιογραφικής επισκόπησης καταγράφονται οι τύποι της ξήρασιας. Η επιστημονική κοινότητα, ελλείψει ορισμού που συζητήσαμε στην προηγούμενη ενότητα, καθιέρωσε αυτούς τους τύπους ξηρασίας προκειμένου να εστιάσει καλύτερα στα επιμέρους πεδία που επηρεάζει το φαινόμενο. Αυτό είναι λογικό μιας και τα κατακρημνίσματα μελετώνται από επιστήμονες διαφορών ειδικοτήτων και η μείωση τους επηρεάζει την ύδρευση, την άρδευση, τη βιομηχανία, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το περιβάλλον κ.λπ.

Οι τύποι που καθιερώθηκαν περιγράφονται παρακάτω:

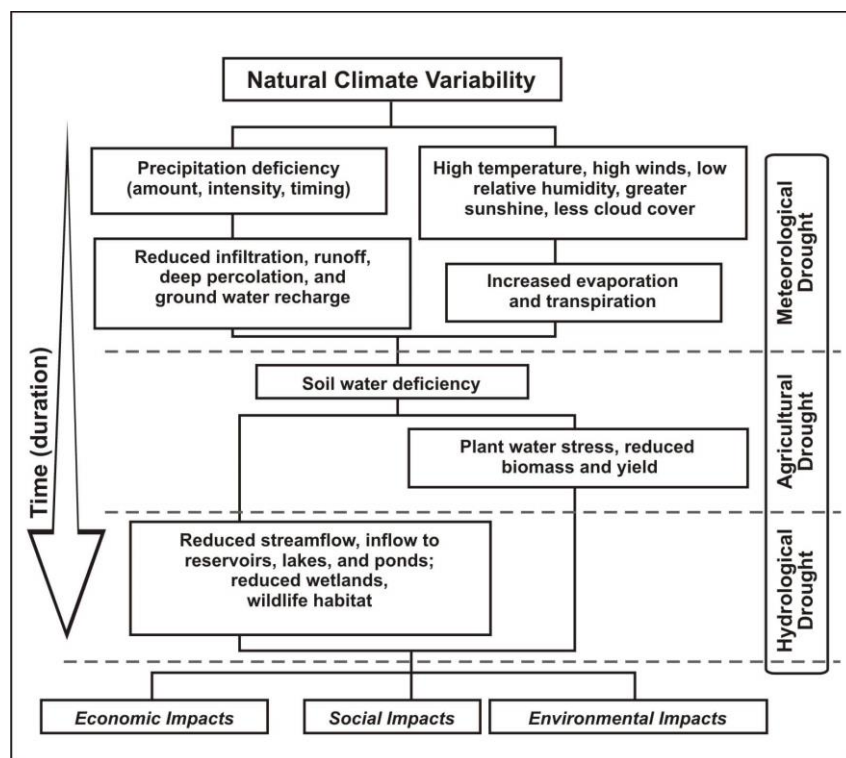
- Η **μετεωρολογική - κλιματική ξηρασία** ορίζεται με βάση την απόκλιση της βροχόπτωσης (συνολικό ύψος, αριθμός ημερών βροχής) από την αναμενόμενη, με βάση το κλίμα της περιοχής. Είναι γνωστό ότι το βροχομετρικό καθεστώς μιας περιοχής εξαρτάται από την ευρύτερη ατμοσφαιρική κυκλοφορία η οποία εξελίσσεται δημιουργώντας καταστάσεις που συνδέονται με την ξηρασία ή τη βροχόπτωση. Κατά συνέπεια μεγάλης κλίμακας διαταραχές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία (όπως η παρουσία ενός μεγάλου πεδίου υψηλών πιέσεων που συνδέεται με την απουσία βροχής) μπορούν να επηρεάσουν το βροχομετρικό καθεστώς για μεγάλη χρονική περίοδο και να προκαλέσουν ξηρασία σε μια περιοχή.
- Η **γεωργική ξηρασία** ορίζεται με βάση τις επιδράσεις που έχει στη γεωργία η μετεωρολογική ξηρασία, και είναι πάντα αποτέλεσμα της ανεπάρκειας της εδαφικής υγρασίας να καλύψει τις ανάγκες διαπνοής των φυτών, ώστε να ξεκινήσει ή να συνεχιστεί η ανάπτυξη τους. Οι ανάγκες σε νερό των φυτών εξαρτώνται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, τα βιολογικά χαρακτηριστικά κάθε είδους, το στάδιο ανάπτυξης που βρίσκονται και τις φυσικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Η κύρια παράμετρος που εξετάζεται για τον προσδιορισμό της γεωργικής ξηρασίας είναι η διαφορά μεταξύ βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμοδιαπνοής. Υπενθυμίζεται ότι ο όρος δυνητική εξατμοδιαπνοή περιγράφει το σύνολο των απωλειών νερού από την εξάτμιση εδαφών και από τη διαπνοή της χλωρίδας κάτω από συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού [Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999].

- Η **υδρολογική ξηρασία** σχετίζεται με τα αποτελέσματα της μειωμένης βροχόπτωσης στην επιφανειακή και υπόγεια απορροή του νερού και εκδηλώνεται με τη μείωση της εδαφικής υγρασίας, της παροχής των ποταμών και πηγών, της στάθμης λιμνών και ταμιευτήρων και των αποθεμάτων των υπογείων νερών. Η υδρολογική ξηρασία έχει χρονική υστέρηση σε σχέση με τη μετεωρολογική και την γεωργική. Το έλλειμμα βροχόπτωσης επιδρά άμεσα στην εδαφική υγρασία και κατά συνέπεια στις καλλιέργειες, σταδιακά στην παροχή των ποταμών, στη στάθμη των λιμνών και των ταμιευτήρων και τέλος στα αποθέματα των υπογείων νερών. Όταν η βροχόπτωση ξαναρχίσει, η σειρά αυτή επαναλαμβάνεται για την επαναφόρτιση των επιφανειακών και υπογείων υδάτινων σωμάτων. Οι παραπάνω διεργασίες διαρκούν από μερικές ώρες μέχρι και πολλά χρόνια (για την διακίνηση του νερού στους υπογείους υδροφορείς) και εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης και τα υδρολογικά, υδρογεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.
- Η **κοινωνικοοικονομική ξηρασία** ουσιαστικά εκφράζει την τρωτότητα της κοινωνίας στην έλλειψη νερού. Συνδέει όλες τη μείωση της διαθεσιμότητας νερού από φυσικούς λόγους με την προσφορά και ζήτηση αγαθών που σχετίζονται με τη χρήση νερού, όπως το πόσιμο νερό, τα γεωργικά προϊόντα και η υδροηλεκτρική ενέργεια. Η κοινωνικοοικονομική ξηρασία συμβαίνει όταν η ζήτηση για αυτά τα αγαθά ξεπερνά την προσφορά ως αποτέλεσμα της έλλειψης νερού, όμως η εμφάνιση της εξαρτάται σημαντικά και από τις κοινωνικές και οικονομικές διαδικασίες προσφοράς και ζήτησης των παραπάνω αγαθών. Ακόμη, μπορεί να προκληθεί και μέσα από πολιτικές διαδικασίες, όπως οι διαμάχες μεταξύ κρατών και κοινωνικών ομάδων για τη χρήση του νερού ή η μετακίνηση μεγάλων πληθυσμών σε άνυδρες περιοχές.

Οι τύποι της ξηρασίας έχουν κοινό χαρακτηριστικό το έλλειμμα βροχοπτώσεων. Η ξηρασία με την προσέγγιση αυτή εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου από τύπο σε τύπο.

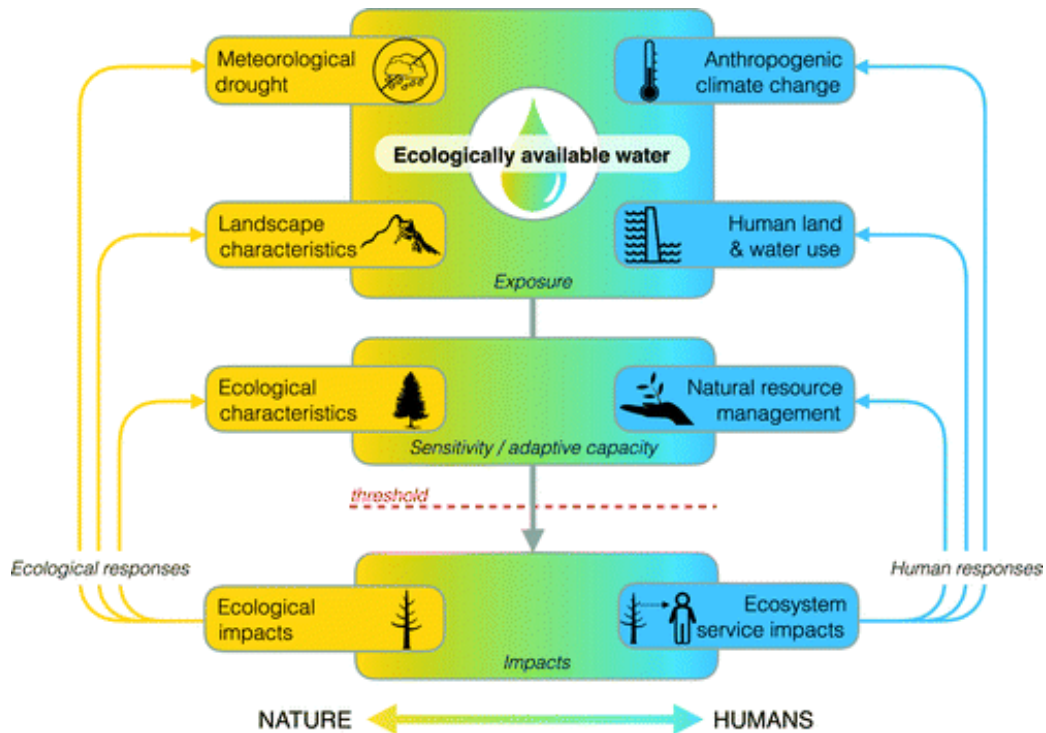


Πίνακας 1-1: Διάγραμμα εξέλιξης τύπων ξηρασίας και αλληλεπίδραση μεταξύ τους [E.E, MEDA Water, MEDROPLAN, 2013]



Πίνακας 1-2: Διάγραμμα εξέλιξης της ξηρασίας και των επιπτώσεων της (πηγή :National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, ανάκτηση 2018)

Τελευταία εισάγεται και η έννοια της **οικολογικής ξηρασίας** και ορίζεται ως «το παροδικό έλλειμμα στην διαθεσιμότητα νερού, η οποία ωθεί τα οικοσυστήματα πέραν των ορίων της τρωτότητας, επηρεάζει τις υπηρεσίες των οικοσυστημάτων και ενεργοποιεί αναδράσεις στα φυσικά ή/και ανθρώπινα συστήματα» (Crausbay et al., 2017).



Πίνακας 1-3: Διάγραμμα οικολογικής ξηρασίας στον 21ο αιώνα (Crausbay et al., 2017)

Συγκρίνοντας τον ορισμό της ξηρασίας των Κουτσογιάννη και Μαμάση σε σύγκριση με την προσέγγιση των τύπων της ξηρασίας, φαίνεται πως ορισμός είναι υπέρτερος των τύπων μιας και πληροί τις προϋποθέσεις της έννοιας όπως την ορίσαμε προηγουμένως.

1.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Σύμφωνα με τον Dracup κοινός τόπος για τα επεισόδια ξηρασίας θα πρέπει να είναι οι στατιστικοί δείκτες των χαρακτηριστικών της ξηρασίας. Τα βασικά χαρακτηριστικά της ξηρασίας είναι ένταση, διάρκεια, χωρική κατανομή, καταστροφικότητα και εμμονή.

1.3.1 ΈΝΤΑΣΗ

Η ένταση συναρτάται με την απόκλιση της βροχόπτωσης και άλλων παραμέτρων που συνδέονται με την εξάτμιση (θερμοκρασία, άνεμος, υγρασία) από τις αναμενόμενες κλιματικές τιμές. Η ποσοτικοποίηση της έντασης μπορεί να γίνει με τη χρήση στατιστικής, μέσω της οποίας μπορεί να εκτιμηθεί η πιθανότητα εμφάνισης των συγκεκριμένων τιμών των μετεωρολογικών μεταβλητών ή με τη χρήση δεικτών που ενσωματώνουν τις κλιματικές παραμέτρους (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 2007).

1.3.2 ΔΙΑΡΚΕΙΑ

Η χρονική διάρκεια είναι δύσκολο να προσδιοριστεί αφού υπάρχει αβεβαιότητα για τη χρονική στιγμή αρχής και τέλους του φαινομένου. Η ξηρασία εξελίσσεται αργά και επιδρά αθροιστικά όσο η έλλειψη βροχόπτωσης εμμένει για μήνες ή χρόνια, ενώ οι επιδράσεις συνεχίζονται και μετά την έναρξη της βροχόπτωσης αφού η επαναφόρτιση όλων των υδάτινων σωμάτων (ιδίως των υπογείων) απαιτεί χρόνο (Palmer, 1965).

1.3.3 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Οι περιοχές, που επηρεάζονται από ακραία φαινόμενα ξηρασίας, αυξάνουν σταδιακά όσο η ξηρασία διατηρείται για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Μεγάλες χώρες, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η Κίνα, η Βραζιλία, η Ινδία σπανία επηρεάζονται ολόκληρες από κάποιο επεισόδιο ξηρασίας. Αντίθετα, δεν είναι σπάνιο να παρατηρηθεί ξηρασία σε ολόκληρο το πλάτος και μήκος των μικρών χωρών, όπως είναι η Ελλάδα. Γενικά, είναι σπάνιο στη διάρκεια ενός έτους να μην παρατηρηθεί έστω και ένα μικρό επεισόδιο μετεωρολογικής κυρίως ξηρασίας αφού η ξηρασία είναι συχνά αποτέλεσμα μεγάλης κλίμακας ανωμαλιών της ατμοσφαιράς οι οποίες εγκαθίστανται και εμμένουν για μεγάλες χρονικές περιόδους πάνω από διάφορες περιοχές. Η γνώση της χωρικής κατανομής της ξηρασίας ανά περιοχή έχει πολύ μεγάλη σημασία (Henriques and Santos, 1999).

1.3.4 ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΤΗΤΑ

Η καταστροφικότητα της ξηρασίας εκφράζει την επίδραση του φυσικού φαινομένου στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Εξαρτάται από την ένταση, τη διάρκεια και την έκταση της ξηρασίας, τη χρονική κατανομή της βροχής, τη διαχείριση των υδατικών συστημάτων και τη εξέλιξη της ζήτησης. Έτσι η εκδήλωση των βροχών σε σχέση με τα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών, ο αριθμός των επεισοδίων βροχής και η ένταση τους, η παρουσία τεχνητών ταμιευτήρων και η δυνατότητα μείωσης των υδατικών αναγκών, συνδέονται άμεσα με την αποτελεσματικότητα της βροχής να καλύψει τις ανθρώπινες ανάγκες και κατά συνέπεια με την καταστροφικότητα της ξηρασίας (Μαμάσης, 1997).

1.3.5 ΕΜΜΟΝΗ

Η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο που παρουσιάζει μεγάλη τάση αυτοσυντήρησης. Αυτοτροφοδοτείται καθώς μεγαλύτερο ποσό αισθητής παρά λανθάνουσας θερμότητας επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Συνήθως έχουμε την επικράτηση ηπειρωτικού παρά θαλάσσιου τύπου σωρειτών. (Twomey, 1959). Πρέπει να αναφέρουμε ότι δεν υπάρχει δείκτης ξηρασίας για την ποσοτικοποίηση της εμμονής (οι δείκτες περιγράφονται σε κεφάλαιο που ακολουθεί).

1.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Αναφέραμε και πρωτύτερα πως μη επαρκή κατανόηση του φαινομένου και η υποτίμηση των επιπτώσεων της ξηρασίας τόσο σε επίπεδο περιβάλλοντος όσο σε κοινωνικό επίπεδο από την επιστημονική κοινότητα και τις κυβερνήσεις θα έχει σοβαρές παγκόσμιες επιπτώσεις για το μέλλον (Wilhite et al., 1985). Πράγματι η ιστορία έχει δείξει πως αν και δεν είναι μια φυσική καταστροφή που είναι άμεσα αισθητή, όπως ένας σεισμός για παράδειγμα που καταστρέφει υποδομές μέσα σε ένα διάστημα δευτερολέπτων, οι επιπτώσεις αυτής μπορεί να είναι το ίδιο ή ακόμη περισσότερο καταστροφικές αλλά σε βάθος χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, οι περίοδοι ξηρασίας συμβάλλουν σε σημαντικές απώλειες των γεωργικών καλλιεργειών (Karl and Koscielny, 1982; Austin et al., 1998; Quiring and Papakryiakou, 2003), καταστροφές στα φυσικά οικοσυστήματα (Kogan, 1995, 1997) αυξάνουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς δασών (Orwing and Abrams, 1997; Adams et al., 1998; Pausas, 2004) και προκαλούν διαδικασίες υποβάθμισης εδάφους και ερημοποίησης (Schlesinger et al., 1990; Glantz, 1994; Bruins and Berliner, 1998; Nicholson et al., 1998; Pickup, 1998), κοινωνική ανησυχία (Morales et al., 2000), υποσιτισμό και πτώχευση (Garcia, 1984; Kanti, 1998). Στην συνέχεια προσπαθήσαμε να συγκεντρώσουμε τις σημαντικότερες επιπτώσεις ανάλογα με την κατηγορία ξηρασίας που επισημάναμε παραπάνω.

1.4.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ :

- Ταπείνωση της παροχής ύδατος και ποιότητας του επιφανειακού και του υπόγειου νερού
- Πλήττεται το ενδιαίτημα σε όλα τα επιφανειακά υδάτινα σώματα (λίμνες, ποτάμια, υδροβιότοποι κ.λ.π)
- Έλλειψη πόσιμου νερού και τροφής
- Ταπείνωση της ποιότητας του αέρα (σκόνη, αιωρούμενα σωματίδια κ.λπ)
- Εμφάνιση ασθενειών
- Αύξηση της συγκέντρωσης άλατος (ρέματα, υπόγεια στρώματα και αρδευόμενες περιοχές)

1.4.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΑ

- Πλήττει η δημόσια ασφάλεια και υγεία, από την ταπείνωση της ποιότητας του νερού και του αέρα καθώς και από τον αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιών.
- Επιπτώσεις στον τρόπο ζωής (αβεβαιότητα για το μέλλον, αύξηση της ανεργίας, δυσκολίες στην προσωπική φροντίδα και υγιεινή, επαναχρησιμοποίηση του ύδατος στο σπίτι, απαγόρευση πλυσίματος αυτοκινήτων και σπιτιών, απώλεια περιουσίας)
- Ανισότητα των επιπτώσεων της ξηρασίας και της κατανομής των μέτρων περιορισμού της
- Αυξημένη κοινωνική ανισότητα λόγω των επιπτώσεων στις διαφορετικές κοινωνικό-οικονομικές ομάδες
- Εγκατάλειψη δραστηριοτήτων και μετανάστευση (σε ακραίες περιπτώσεις)

1.4.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

- Μειωμένη παραγωγή στην γεωργία, δασοκομία, κτηνοτροφία, αλιεία, υδροηλεκτρική ενέργεια, τουρισμό, βιομηχανία και οικονομικές δραστηριότητες που εξαρτώνται από τους τομείς αυτούς
- Ανεργία που προκαλείται από την μείωση της παραγωγής
- Πίεση σε οικονομικούς φορείς (μεγαλύτερη επικινδυνότητα δανεισμού, μείωση κεφαλαίων, κ.λπ)
- Δαπάνες σε μέτρα εκτάκτου ανάγκης για τη βελτίωση των πόρων και μείωση των απαιτήσεων (πρόσθετες δαπάνες για μεταφορά και απομάκρυνση νερού, δαπάνες για νέες τεχνολογίες για βελτιστοποίηση διαχείρισης υδατικών πόρων, κ.λπ)
- Μείωση εισοδήματος σε εταιρείες παροχής ύδατος λόγω μειωμένης διανομής

1.5 ΑΙΤΙΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η αβεβαιότητα στον ακριβή καθορισμό τόσο του χρονικού διαστήματος διατήρησης του φαινομένου όσο και τα όρια της περιοχής στην οποία εμφανίζεται, οδηγεί στη δημιουργία πολλών υποθέσεων γύρω από τα αίτια εμφάνισης του φαινομένου της ξηρασίας (Bryant, 1991). Η εμφάνιση της ξηρασίας δεν αποκλείεται να είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης ορισμένων παραμέτρων ή να μην ευθύνεται καμιά από αυτές και να πρόκειται για ένα τυχαίο γεγονός. Οι κυρίες θεωρίες που ερμηνεύουν την εμφάνιση κάποιων επεισοδίων ξηρασίας είναι :

- Αλλαγές στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας
- Φαινόμενο El-Niño
- Αστρονομικοί Παράγοντες

1.5.1 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Σύμφωνα με τους Gribbin (1978), Brysson και Murray (1979) και Lamb (1982) η εμφάνιση ξηρασίας είναι αποτέλεσμα μιας γενικής αλλαγής στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Πιστεύεται ότι οι μετακινήσεις των κυμάτων Rossby (πλανητικά κύματα ελικοειδή μεγάλης κλίμακας στην ανώτερη τροπόσφαιρα που διαδίδονται στα μέσα γεωγραφικά πλάτη.

Τα κύματα αυτά ενισχύουν την εμβάθυνση των υφέσεων και την ενδυνάμωση των αντικυκλώνων) είναι υπεύθυνες, τόσο για την πρόκληση μικρής διάρκειας ξηρασίας όσο και για ημιμόνιμες καταστάσεις του κλίματος σε συγκεκριμένες περιοχές του βορείου Ημισφαιρίου. Συγκεκριμένα, οι Bryson και Murray (1977) υποστηρίζουν ότι η ξηρασία στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου αλλά και της βόρειας Αφρικής οφείλεται κατά κύριο λόγο στη θέση των κυμάτων Rossby.

Η εξαιρετικής έντασης και καταστροφικότητας ξηρασία, που καταγράφηκε το 1976 στη Μεγάλη Βρετανία, δύναται να ήταν αποτέλεσμα μετακίνησης του πολικού αεροχειμάρρου και του πολικού μετώπου προς τα βορεία, επιτρέποντας την επέκταση του αντικυκλώνα του Ατλαντικού μέχρι τη Μεγάλη Βρετανία, με αποτέλεσμα την επικράτηση μεγάλης ευστάθειας στην περιοχή και απουσία βροχόπτωσης (Καραμπουρνιώτης, 2012). Ωστόσο και άλλοι

παράγοντες μπορεί να προκαλέσουν αλλαγές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία, μικρότερης βεβαίως σημασίας. Το ισοζύγιο της ακτινοβολίας μπορεί να μεταβληθεί από την εισαγωγή μεγάλης ποσότητας ηφαιστειακής τέφρας ή λεπτόκοκκου κονιορτού από τις ερήμους με άμεσο αποτέλεσμα την υπερθέρμανση των αερίων μαζών και την εμφάνιση του φαινομένου της ξηρασίας στις περιοχές αυτές. Τα φαινόμενα αυτά περιγράφονται και από ιστορικές αναφορές

. Τέλος, η διέλευση των αερίων μαζών πάνω από ψυχρές, θαλάσσιες μάζες έχει ως αποτέλεσμα το μη πλήρη εμπλουτισμό αυτών με τα απαραίτητα ποσά υγρασίας οπότε έμμεσα παρατηρείται ελάττωση του υετού στις περιοχές όπου αυτές επηρεάζουν.

1.5.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ EL-NIÑO

Η μεγάλη θερμοχωρητικότητα των ωκεανών, σε συνδυασμό με την αέναη ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ ατμόσφαιρας και ωκεανών, αποτελούν τους κύριους παράγοντες καθορισμού των κλιμάτων στην επιφάνεια της γης. Η ελάττωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας, η οποία μπορεί να προκληθεί από την μεταβολή της τροχιάς των θαλάσσιων ρευμάτων, δύναται να προκαλέσει μεταβολή στη συνηθισμένη εμφάνιση των καιρικών φαινομένων σε μια μεγάλη ή μικρή περιοχή στην επιφάνεια του πλανήτη, με αποτέλεσμα να εμφανιστεί ως ένα επιπλέον αίτιο εμφάνισης ξηρασίας.

Το φαινόμενο El Niño εμφανίζεται στην περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανού. Στο τέλος κάθε ημερολογιακού έτους, εμφανίζεται κατά μήκος των ακτών του Ισημερινού και του Περού, ένα ασθενές, θερμό ωκεάνιο ρεύμα. Ορισμένες χρονιές το ρεύμα αυτό ενισχύεται σημαντικά από απόψεως θέρμανσης και εκτείνεται μέχρι και το κέντρο του Ειρηνικού ωκεανού. Ο χαρακτηρισμός El Niño χρησιμοποιείται μόνο για την περιγραφή των ακραίων επεισοδίων. Η ισχυρή θέρμανση του Ειρηνικού ωκεανού συνδέεται με πλήθος καιρικών ανωμαλιών που παρατηρούνται κατά την διάρκεια αυτών των επεισοδίων. Υπό φυσιολογικές συνθήκες στο ανατολικό τμήμα του Ειρηνικού σημειώνονται υψηλές πιέσεις, ενώ στο δυτικό τμήμα του Ειρηνικού (Ινδονησία, Αυστραλία) σημειώνονται χαμηλές πιέσεις. Από την άποψη των επιφανειακών ανεμών, στη περιοχή επικρατούν οι αληγείς άνεμοι, οι οποίοι είναι ανατολικής συνιστώσας. Κατά τη διάρκεια, όμως, του φαινομένου El Niño, η βαρομετρική πίεση του ανατολικού Ειρηνικού μειώνεται, ενώ ταυτόχρονα, η πίεση στο δυτικό τμήμα του Ειρηνικού αυξάνεται. Οι επιφανειακοί αληγείς άνεμοι εξασθενούν επιτρέποντας έτσι στα θερμά επιφανειακά νερά να επεκταθούν προς τον ανατολικό Ειρηνικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη

συσσώρευση θερμού νερού στον ανατολικό Ειρηνικό, ενώ τα ψυχρά και πλούσια σε τροφή νερά από τα βαθύτερα στρώματα δε μπορούν να αναδυθούν στις παράκτιες περιοχές της Αμερικής και έτσι τα θαλάσσια είδη της περιοχής υποφέρουν από έλλειψη τροφής και οξυγόνου. Αυτό το μοντέλο παλινδρόμησης της ατμοσφαιρικής πίεσης ανάμεσα στο δυτικό και ανατολικό τμήμα του Ειρηνικού, είναι σήμερα γνωστό με τον όρο «Ταλάντωσή Νότιας Κύμανσης» (El Niño Southern Oscillation, ENSO).

Οι περιοχές που επηρεάζονται από την ENSO κυκλοφορία, σύμφωνα με τους Bhalme et al. (1983), θεωρούνται περιοχές εμφάνισης ακραίων υδρολογικών φαινομένων και συγκεκριμένα φαινομένων ξηρασίας και πλημμυρών. Τα φαινόμενα ENSO παίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία και την ένταση της ξηρασίας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόγνωση της εμφάνισης του φαινομένου της ξηρασίας.

1.5.3 ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Επίσης υπάρχουν θεωρήσεις ότι οι ηλιακές κηλίδες και οι σεληνιακοί κύκλοι των 18,6 ετών αποτελούν παράγοντες ρύθμισης της εμφάνισης ξηρασίας ή βροχόπτωσης στον πλανήτη. Η περιοδική εμφάνιση τους αποτελεί μέσο πρόγνωσης της ξηρασίας.

Σύμφωνα με τον Currie (Currie, 1981; 1984) έχει διαπιστωθεί σχέση ανάμεσα στους κύκλους των ηλιακών κηλίδων με την κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Από τη διακύμανση της πολικότητας των ηλιακών κηλίδων στο χρόνο παρατηρείται κύκλος 22 ετών (περιοδικότητα), ο οποίος αποτελείται από δύο 11ετής κύκλους αντίθετης πολικότητας. Τα ελάχιστα της πολικότητας, στη διακύμανση των ηλιακών κηλίδων, αντιστοιχούν σε επεισόδια ξηρασίας, μικρής ή μεγάλης έντασης.

Οι σεληνιακοί κύκλοι των 18,6 ετών αντιπροσωπεύουν τη διακύμανση της τροχιάς της σελήνης, σε σχέση με τον ισημερινό του ηλίου. Η τροχιά της σελήνης δημιουργεί, σε κανονικές συνθήκες, γωνία 5° από τον ισημερινό του ηλίου. Στο τέλος μιας πλήρους περιστροφής, η σελήνη δεν επιστρέφει στην αρχική της θέση αλλά έχει μετατοπιστεί λίγο μακρύτερα στο εσωτερικό της τροχιάς της. Κάθε 9,3 έτη, η τροχιά της σελήνης φτάνει στο υψηλότερο σημείο και τότε η σελήνη βρίσκεται πιο κοντά στον Ισημερινό της Γης, δηλαδή βρίσκεται στη θέση του ελάχιστου. Με την έλευση των επόμενων 9,3 ετών, η σελήνη επιστρέφει στην αρχική της θέση, κ.ο.κ. Σύμφωνα με τον Currie (1981; 1984) αποδεικνύεται

ότι τα μέγιστα των 18,6 ετών, σεληνιακού κύκλου, συνδέονται με την εμφάνιση πλημμυρών ή φαινομένων ξηρασίας σε διάφορες περιοχές.

Παρατηρείται λοιπόν ότι υπάρχουν και θεωρήσεις ότι το φαινόμενο της Νότιας Κύμανσης (ENSO) και οι διάφοροι αστρονομικοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την εμφάνιση φαινομένου ξηρασίας σε ορισμένες περιοχές. Τα φαινόμενα αυτά όμως εκφράζουν μόλις το 15-30% της ολικής διακύμανσης της βροχόπτωσης, οπότε το 70% περίπου της πιθανότητας εμφάνισης ξηρασίας σε κάποια περιοχή οφείλεται σε άλλους κλιματικούς παράγοντες που τελούν ακόμα υπό έρευνα (Bryant, 1991).

1.6 ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο των ορισμών σύμφωνα με τον Dracup θα πρέπει να ο ορισμός της ξηρασίας να είναι τοπικού χαρακτήρα και να επικεντρωθούμε στα τοπικά χαρακτηριστικά της και στην συνέχεια να μελετώνται οι στατιστικοί δείκτες των παραμέτρων της ξηρασίας (ένταση, διάρκεια, χωρική κατανομή, καταστροφικότητα). Με γνώμονα αυτό η επιστημονική κοινότητα προκειμένου να τυποποιήσει ποσοτικά το μέγεθος των παραμέτρων της ξηρασίας, εισαγάγει την έννοια των δεικτών της ξηρασίας. Δείκτης ονομάζεται ένας σταθμισμένος συνδυασμός δύο ή περισσότερων ενδείξεων. Ένας δείκτης σχεδιάζεται, ώστε να είναι η περίληψη του συστήματος (E.E., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006).

Η χρήση λοιπόν των ποικίλων δεικτών ξηρασίας μας επιτρέπουν τον προσδιορισμό, την αναγνώριση, το μέγεθος, την ένταση και την χωρική κατανομή των ξηρασιών. Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται δεκάδες δείκτες (και παραλλαγές τους). Οι δείκτες αυτοί έχουν εφαρμοστεί σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές και για διαφορετικούς σκοπούς, όπως ο προσδιορισμός του ελλείμματος βροχόπτωσης, εδαφικής υγρασίας, απορροής ή αποθεμάτων ταμιευτήρων, η επίδραση της ξηρασίας στις καλλιέργειες, η εκτίμηση του κίνδυνου δασικών πυρκαγιών και η αξιολόγηση της κατάστασης της βλάστησης.

Για την εκτίμηση των δεικτών, οι μεταβλητές εισόδου που κυρίως χρησιμοποιούνται είναι η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, η εξατμοδιαπνοή, η επιφανειακή απορροή και η χιονόπτωση. Σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται και άλλες μεταβλητές, όπως τα αποθέματα των ταμιευτήρων, η παραγωγή αγροτικών προϊόντων και η δορυφορική καταγραφή της ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπει η βλάστηση. Από τα δεδομένα εισόδου γίνεται μια πρώτη κατηγοριοποίηση των δεικτών ξηρασίας. Ακολουθεί πίνακας με τους δημοφιλέστερους δείκτες ξηρασίας και τα χαρακτηριστικά τους.

Δείκτες ξηρασίας	Δεδομένα	Κατηγορία χρήσης
Deciles	Βροχοπτώσεις	Μετεωρολογικός
Standardised Precipitation Index (SPI)	Βροχοπτώσεις	Μετεωρολογικός, χρησιμοποιείται για παρακολούθηση και πρόγνωση
Rainfall Anomaly Index (RAI)	Βροχοπτώσεις	Μετεωρολογικός, ευαίσθητος σε ακραία γεγονότα
Standardized Precipitation Evaporation Drought Index (SPEI)	Βροχοπτώσεις, δυνητική εξατμισοδιαπνοή	Μετεωρολογικός
Reconnaissance Drought Index (RDI)	Βροχοπτώσεις, δυνητική εξατμισοδιαπνοή	Μετεωρολογικός
Run Analysis (Χωρική ανάλυση χρονοσειρών)	Βροχοπτώσεις, παροχή υδατορευμάτων	Μετεωρολογικός και υδρολογικός, για χωροχρονική ανάλυση ιστορικών γεγονότων
Palmer Drought Severity Index (PDSI)	Βροχοπτώσεις, θερμοκρασία, συνθήκες εδαφικής υγρασίας	Μετεωρολογικός, αποτελεσματικός στη γεωργία, χρησιμοποιείται για ιστορικές αναλύσεις και εκτίμηση επικινδυνότητας
Palmer Hydrological Drought Severity Index (PHDI)	Βροχοπτώσεις, θερμοκρασία, συνθήκες εδαφικής υγρασίας	Υδρολογικός, αποτελεσματικός στην παρακολούθηση ξηρασίας
Palmer Moisture Anomaly Index (Z-Index)	Βροχοπτώσεις, θερμοκρασία, συνθήκες εδαφικής υγρασίας	Γεωργικός
Surface Water Supply Index (SWSI)	Χιονοπτώσεις, βροχοπτώσεις, παροχή υδατορευμάτων, υδατικά αποθέματα	Υδρολογικός, αποτελεσματικός όταν υπάρχει σημαντική ποσότητα χιονιού
Crop Moisture Index (CMI)	Βροχοπτώσεις, θερμοκρασία, συνθήκες εδαφικής υγρασίας	Γεωργικός
Soil Moisture Anomaly Index (SMAI)	Συνθήκες εδαφικής υγρασίας, δυνητική εξατμισοδιαπνοή, δυνητική απορροή	Υδρο-γεωργικός
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	Δορυφορικές εικόνες	Φυσικών πόρων, γεωργικός

Πίνακας 1-4 Δείκτες ξηρασίας και τα χαρακτηριστικά τους από Iglesias et al.,(2007a)(πηγή: E.E., MEDAWater, MEDROPLAN (2006))

Ο χαρακτηρισμός της ξηρασίας είναι περίπλοκος και υπάρχει ένα μεγάλο φάσμα μετεωρολογικών ή υδρολογικών δεικτών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Απαιτεί μια ακριβή επιλογή μεθόδων προσδιορισμού της ξηρασίας ή/και δεικτών ξηρασίας, ικανών να περιγράψουν με ένα συνθετικό και σαφή τρόπο την εξέλιξη των συνθηκών ξηρασίας στο χώρο και το χρόνο. Ο καθένας από αυτούς έχει τη δική του αξία και συχνά υποστηρίζει ο ένας τον άλλο. Ένας συνδυασμός δεικτών είναι συνήθως η προτιμώμενη επιλογή (Iglesias et al., 2007a). Σύμφωνα με τους Keyantash and Dracup (2002) τα χαρακτηριστικά ενός καλού δείκτη θα πρέπει να είναι τα ακόλουθα :

1. Να είναι ανεξάρτητος περιοχής και χρόνου που υπολογίζεται και άρα συγκρίσιμος σε διάφορες περιοχές και χρονικές περιόδους
2. Να είναι ευκολά υπολογίσιμος και να υπάρχει διαθεσιμότητα στοιχείων
3. Να είναι κατανοητός στους πολίτες
4. Να είναι επιστημονικά τεκμηριωμένος και να έχει φυσικό αντίκρισμα
5. Να μπορεί να επεκταθεί στο παρελθόν με στόχο τις ιστορικές συγκρίσεις
6. Να έχει μονάδα μέτρησης απλή και με νόημα στον κόσμο

Οι Tsakiris and Pangalou (2009) αντίστοιχα υποστηρίζουν για τα βασικά χαρακτηριστικά των δεικτών θα πρέπει να είναι :

1. Η απλότητα του δείκτη, δηλαδή να είναι εύχρηστος και κατανοητός
2. Να είναι σωστά ορισμένος, επιστημονικά αποδεκτός και με φυσική έννοια
3. Η ευαισθησία, δηλαδή να ανταποκρίνεται σε μεγάλο εύρος τιμών
4. Η έγκαιρη ανταπόκριση του δείκτη στις κλιματικές διακυμάνσεις
5. Η μεταβιβασιμότητα, δηλαδή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιοχές
6. Η διαθεσιμότητα στοιχείων, δηλαδή να υπάρχει πρόσβαση με μεγάλου μήκους χρονοσειρές και καλής ποιότητας δεδομένα
7. Το χαμηλό κόστος επεξεργασίας για την παραγωγή του δέκτη

Με βάση αυτές τις έξι ιδιότητες των Keyantash and Dracup και δίνοντας βαρύτητα στις πρώτες δύο, ο Quiring (2009) συνέκρινε τους εξής επτά δείκτες: SPI, PDSI, Deciles, Z index, Percent of Normal, EDI, VCI και κατέληξε στο συμπέρασμα πως οι SPI και Deciles υπερέχουν των υπολοίπων.

Αντίστοιχα, οι Iglesias et al.,(2007a,b) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για τον σκοπό της συνεχούς παρακολούθησης ο πιο εύκολος δείκτης είναι ο Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee et al.,1993) αλλά και ο Reconnaissance Drought Index (RDI) (Tsakiris and Vangelis, 2005; Tsakiris et al., 2007).

Οι πιο ευρέως εφαρμοσμένοι δείκτες ξηρασίας περιλαμβάνουν τους Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee et al.,1993), Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Palmer, 1965) και τα Deciles (Gibbs and Maher, 1967). Ακολουθεί σύντομη περιγραφή αυτών συν του Reconnaissance Drought Index (RDI) (Tsakiris and Vangelis, 2005; Tsakiris et al., 2007).

1.6.1 PALMER DROUGHT SEVERITY INDEX (PDSI)

Πρόκειται για τον γνωστότερο δείκτη υδατικού ισοζυγίου, ο οποίος προτάθηκε από τον Palmer (1965) και αναθεωρήθηκε από τον Alley (1984). Ο Palmer δημιούργησε αυτόν τον δείκτη προκειμένου να μετρήσει την υγρασία. Ο δείκτης στηρίζεται στην εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου και εκτιμάται με βάση τις βροχοπτώσεις, τα δεδομένα θερμοκρασίας και την διαθεσιμότητα νερού στο έδαφος. Συγκεκριμένα, υπολογίζονται η εξατμοδιαπνοή, η επαναφόρτιση του εδάφους, η απορροή και η απώλεια υγρασίας από το επιφανειακό εδαφικό στρώμα, ενώ δεν λαμβάνεται υπ' όψιν η ανθρώπινη επίδραση πάνω στην ισορροπία του νερού (π.χ άρδευση). Η χρησιμοποίηση των κανονικοποιημένων τιμών του δείκτη επιτρέπει να γίνονται συγκρίσεις ανάμεσα σε διαφορετικές περιοχές και σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα (Hayes, 1999).

Στόχος του Δείκτη Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (PDSI), ήταν να προσφέρει τυποποιημένες μετρήσεις υγρασίας, έτσι ώστε οι συγκρίσεις που θα πραγματοποιούνται με βάση τον δείκτη να έχουν νόημα μεταξύ τοποθεσιών και μεταξύ των μηνών (Palmer, 1965).

Ο PDSI είναι ένας μετεωρολογικός δείκτης ξηρασίας, που εκφράζει τη διάρκεια ενός ξηρού ή υγρού επεισοδίου. Ο δείκτης PDSI υπολογίζεται με βάση τα δεδομένα βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και το διαθέσιμο νερό του εδάφους (Available Water Content, AWC). Ο Palmer δημιούργησε κάποια κριτήρια που καθορίζουν την αρχή και το τέλος κάθε επεισοδίου ξηρασίας ή κάθε υγρής περιόδου. Έτσι ο δείκτης PDSI μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες παραλλαγές ως μετεωρολογικός δείκτης (moisture anomaly index και PDSI), αλλά και ως υδρολογικός δείκτης (PHDI). Σύμφωνα με τον Alley (1984), τρία είναι τα βασικά πλεονεκτήματα της εφαρμογής του δείκτη Palmer:

- i. Αποτελεί μέτρο μη κανονικότητας του καιρού σε μια περιοχή
- ii. Παρουσιάζει τη χωροχρονική κατανομή των επεισοδίων ξηρασίας
- iii. Δίνει τη δυνατότητα να μελετηθούν σημερινές συνθήκες (ξηρές ή υγρές περίοδοι) με μια ιστορική προοπτική

Αρκετές πολιτείες των ΗΠΑ, συμπεριλαμβανομένης της Νέας Υόρκης, Κολοράντο, Αϊντάχο, και Γιούτα, χρησιμοποιούν τον Δείκτη Palmer ως ένα μέρος των συστημάτων παρακολούθησης της ξηρασίας. Είναι επίσης χρήσιμο εργαλείο παρακολούθησης της

ξηρασίας και έχει χρησιμοποιηθεί για να προκαλέσει ενέργειες που σχετίζονται με τα σχέδια έκτακτης ανάγκης της ξηρασίας (Willeke et al., 1994).

Η μέθοδος του Palmer που χρησιμοποιείται στο υπολογισμό του PDSI, PHDI, και Moisture Anomaly Z- Index, έχει ορισμένους περιορισμούς και μειονεκτήματα (Alley, 1984). Οι περιορισμοί της μεθόδου συνοψίζονται σε :

- i. Ποσοτικό προσδιορισμό της έντασης ενός επεισοδίου ξηρασίας. Η σηματοδότηση της έναρξης και του τέλους μιας ξηρής ή υγρής ακολουθίας έχει γίνει αυθαίρετα και βασίζεται σε δεδομένα και αναλύσεις βροχόπτωσης από δυο συγκεκριμένες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής.
- ii. Ο δείκτης Palmer εμφανίζει ευαισθησία στη τιμή του διαθέσιμου νερού (Available Water Content, AWC), ανάλογα με το τύπο του εδάφους. Έτσι η εφαρμογή αυτού σε περιοχές, όπου το διαθέσιμο εδαφικό νερό διαφέρει, μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στα αποτελέσματα.
- iii. Τα δυο στρώματα εδάφους, για τα οποία γίνεται ο υπολογισμός του ισοζυγίου του ύδατος μπορούν να μην είναι αντιπροσωπευτικά σε μια διαφορετική περιοχή μελέτης. Η αυθαίρετη ποσότητα των 25 mm της υδατοϊκανότητας του επιφανειακού στρώματος του εδάφους. Η υδατοϊκανότητα είναι μια μεταβαλλόμενη ποσότητα η οποία εξαρτάται από το κλίμα, την υφή του εδάφους καθώς και την φυτοκάλυψη της περιοχής.
- iv. Ο δείκτης δεν λαμβάνει υπ' όψιν περιπτώσεις χιονόπτωσης, χιονοκάλυψης και παγωμένου εδάφους. Ως υετός θεωρείται μονό το ποσό της βροχόπτωσης που πέφτει, με αποτέλεσμα οι τιμές του PDSI να είναι ανακριβείς κατά τους χειμωνιάτικους και εαρινούς μήνες μιας περιοχής, όπου καταγράφονται συχνά χιονοπτώσεις.
- v. Επίσης, δεν υπολογίζεται η φυσική υστέρηση μεταξύ της βροχόπτωσης και της αντίστοιχης απορροής. Το γεγονός ότι θα πρέπει πρώτα να ικανοποιηθεί η ικανότητα κατακράτησης του εδάφους και των υπογείων στρωμάτων του εδάφους οδηγεί σε μια υποεκτίμηση της επιφανειακής απορροής.
- vi. Η δυνητική εξατμοδιαπνοή υπολογίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο Thornthwaite (Thornthwaite, 1948; Thornthwaite and Mather 1957). Η μέθοδος αυτή παρά το γεγονός της μεγάλης αποδοχής που παρουσιάζει στη βιβλιογραφία αποτελεί μια απλή προσέγγιση του φαινομένου. Σήμερα έχουν προταθεί άλλες μέθοδοι που δίνουν σαφώς καλύτερα αποτελέσματα. Ωστόσο με τα περιορισμένα διαθέσιμα δεδομένα

που απαιτούνται από την μέθοδο του Palmer μόνο μια απλή μέθοδος εκτίμησης της δυνητικής εξατμοδιαπνοής, όπως είναι η μέθοδος του Thornthwaite θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί.

- vii. Ο χαρακτήρας της μεθόδου του Palmer, ως μοντέλο, υποθέτει ότι η απορροή δεν λαμβάνει χώρα έως ότου η υδατοϊκανότητα του υψηλότερου και του χαμηλότερου εδαφικού στρώματος πληρωθεί. Αυτή η υπόθεση τείνει να υποεκτιμήσει την επαναφόρτιση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και των πρώτων φθινοπωρινών μηνών.

Σύμφωνα με τον Hayes (1999) τα τελευταία χρόνια υπάρχουν πολλές εργασίες που προσθέτουν και άλλους περιορισμούς στη λίστα των μειονεκτημάτων του δείκτη Palmer. Πιο συγκεκριμένα οι McKee et al. (1995) υποστηρίζουν ότι ο δείκτης Palmer, επειδή αρχικά δημιουργήθηκε για να εφαρμοστεί στην γεωργία, δεν μπορεί να παρουσιάσει με μεγάλη ακρίβεια την επίδραση της ξηρασίας πάνω στην υδρολογία μιας περιοχής σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Ο Kogan (1995) δέχεται ότι ο δείκτης Palmer, επειδή δημιουργήθηκε για συγκεκριμένες περιοχές της Αμερικής, δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε περιοχές με διαφορετική τοπογραφία. Επίσης, οι Smith et al (1993) υποστηρίζουν ότι ο δείκτης Palmer δεν δίνει καλά αποτελέσματα σε περιοχές όπου παρατηρούνται ακραίες διακυμάνσεις της βροχόπτωσης και της απορροής.

1.6.2 DECILES (ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΕΚΑΤΗΜΟΡΙΩΝ)

Ο δείκτης προτάθηκε από τους Gibbs και Maher (1967) και εξετάζει την εμπειρική συνάρτηση κατανομής των υψών βροχής, τα οποία κατατάσσει σε δέκα κατηγορίες πιθανότητας. Ο δείκτης είναι υπολογιστικά απλός και είναι σκόπιμο να χρησιμοποιείται όταν διατίθενται μεγάλες χρονοσειρές, που καθιστούν την εμπειρική κατανομή πιο αξιόπιστη σε σχέση με τις θεωρητικές κατανομές, ως προς την αξιολόγηση των ακραίων τιμών της βροχόπτωσης. Είναι και ένα από τα βασικά μειονεκτήματα ότι απαιτούνται δεδομένα τουλάχιστον τριάντα ετών ώστε ο δείκτης να είναι αξιόπιστος. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται αρκετά συχνά στην Αυστραλία. Μάλιστα, επιλέχθηκε ως μετεωρολογικός δείκτης ξηρασίας για το Εθνικό Σύστημα Παρακολούθησης της Ξηρασίας στην Αυστραλία (Australian Drought Watch System), διότι υπολογίζεται σχετικά ευκολά και απαιτεί λιγότερα στοιχεία και προϋποθέσεις από ότι ο Palmer Drought Severity Index (Smith et al., 1993).

Η τεχνική που αναπτύχθηκε χωρίζει την κατανομή των περιστατικών κατά τη διάρκεια μιας μακροχρόνιας καταγραφής βροχοπτώσεων σε δέκατα της κατανομής. Κάθε μία από τις κατηγορίες αυτές καλείται «δεκατημόριο.» Το πρώτο δεκατημόριο είναι το ποσό των βροχοπτώσεων που δεν υπερβαίνεται από το χαμηλότερο 10% των περιστατικών βροχόπτωσης. Το δεύτερο δεκατημόριο είναι το ποσό βροχόπτωσης που δεν υπερβαίνει το χαμηλότερο 20% των περιστατικών. Αυτά τα δεκατημόρια συνεχίζονται μέχρι το ποσό βροχής που προσδιορίζεται από το δέκατο δεκατημόριο είναι το μεγαλύτερο ποσό βροχοπτώσεων κατά την μακροχρόνια καταγραφή. Εξ ορισμού, το πέμπτο δεκατημόριο είναι το μεσαίο, και αυτό είναι το ποσό βροχόπτωσης δεν υπερβαίνεται από το 50% των περιστατικών κατά τη διάρκεια της καταγραφής. Τα δεκατημόρια ομαδοποιούνται σε πέντε κλάσεις.

Κατηγορίες Deciles	
Deciles 1-2: Χαμηλότερο 20%	Πολύ κάτω από το κανονικό
Deciles 3-4: Επόμενο Χαμηλότερο 20%	Κάτω από το κανονικό
Deciles 5-6: μεσαίο 20%	Κοντά στο κανονικό
Deciles 7-8: Επόμενο υψηλότερο 20%	Πάνω από το κανονικό
Deciles 9-10: Υψηλότερο 20%	Πολύ πάνω από το κανονικό

Πίνακας 1-5: Πίνακας με τις κλάσεις των Deciles

1.6.3 RECONNAISSANCE DROUGHT INDEX (RDI).

Ο Reconnaissance Drought Index, RDI βασίζεται στο λόγο δύο αθροιστικών ποσοτήτων της βροχόπτωσης και της δυνητικής εξατμοδιαπνοής (Tsakiris and Vangelis, 2005; Tsakiris et al., 2007). Ακολουθεί τη λογική σχεδίασης του SPI για κανονικοποίηση των παραγομένων τιμών με βάση μια θεωρητική κατανομή. Προέκυψε από την στάθμιση και κανονικοποίηση του Aridity Index (δείκτης ξηρότητας κλίματος) του FAO με χρήση της λογαριθμικής κατανομής και μπορεί να υπολογιστεί σε μηνιαίες, εποχικές (seasonal), ή ετήσιες υδρολογικές κλίμακες.

Τα κύρια πλεονεκτήματα του RDI σε σχέση με τον SPI είναι ότι έχει φυσική έννοια καθώς υπολογίζει το συνολικό έλλειμμα από τις απαιτήσεις εξάτμισης της ατμοσφαιράς για κάθε χρονική περίοδο και συνδέεται άμεσα με τις κλιματικές συνθήκες. Τα μειονεκτήματα του δείκτη είναι ότι για την ακριβή εκτίμηση της δυνητικής εξατμοδιαπνοής χρειάζεται πολλά

κλιματικά δεδομένα (π.χ. μέγιστη και ελαχίστη θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου, σχετική υγρασία κ.α.).

Η εφαρμογή του δείκτη στον Ελλαδικό χώρο έχει δώσει ελπιδοφόρα αποτελέσματα για την μελέτη της ξηρασίας (Tsakiris and Vangelis, 2005; Tsakiris et al., 2007). Όπως αναφέραμε προηγουμένως, οι Iglesias et al., (2007a) προτείνουν τον δείκτη RDI μαζί με τη χρήση του SPI για επιχειρησιακές εφαρμογές αν τα δεδομένα το επιτρέπουν.

1.6.4 STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI)

Πρόκειται για τον πλέον διαδεδομένο δείκτη ξηρασίας που προτάθηκε από τους McKee et al. (1993). Ο δείκτης ποσοτικοποιεί τη μετεωρολογική ξηρασία σε μηνιαία, εποχιακή ή ετησία βάση. Αρχικά προσαρμόζεται στις ιστορικές χρονοσειρές βροχόπτωσης μια συνάρτηση κατανομής, και στη συνέχεια υπολογίζεται η θεωρητική πιθανότητα της τιμής βροχόπτωσης που εξετάζεται. Ο δείκτης SPI υπολογίζεται ως η τυποποιημένη μεταβλητή της κανονικής κατανομής που αντιστοιχεί στην θεωρητική πιθανότητα που υπολογίστηκε. Ο McKee et al. (1993) χρησιμοποίησε ένα σύστημα ταξινόμησης με τιμές του SPI για τον καθορισμό της έντασης ξηρασίας που προκύπτει βάσει του SPI. Όρισε επίσης τα κριτήρια για ένα "συμβάν ξηρασίας» για οποιαδήποτε από τις χρονικές κλίμακες. Επεισόδιο ξηρασίας εκδηλώνεται κάθε φορά που ο SPI είναι συνεχώς αρνητικός και φτάνει μια ένταση, όπου ο SPI είναι -1,0 ή μικρότερος. Η εκδήλωση της ξηρασίας τελειώνει όταν ο SPI γίνεται θετικός. Κάθε περίπτωση ξηρασίας, ως εκ τούτου, έχει χρονική διάρκεια που καθορίζεται από την αρχή και το τέλος της, και μια ένταση για κάθε μήνα που το φαινόμενο συνεχίζεται. Το συσσωρευμένο μέγεθος της ξηρασίας μπορεί επίσης να είναι το μέγεθος της ξηρασίας, και είναι το θετικό άθροισμα των SPI για όλους τους μήνες σε περίπτωση ξηρασίας

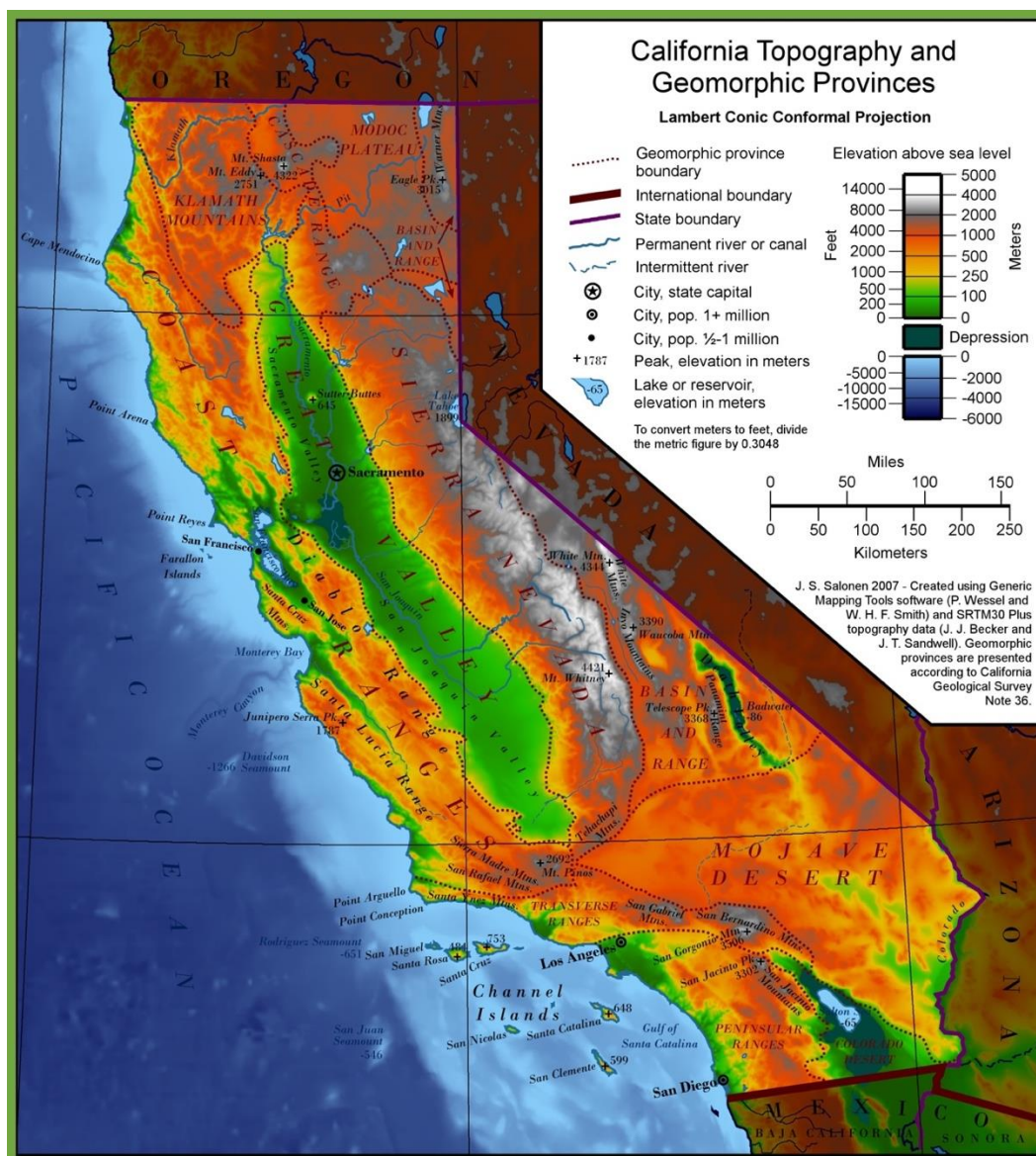
Τιμές SPI	Κατηγορία Επεισοδίου	Πιθανότητα %
$SPI \geq +2.00$	Εξαιρετικά υγρή περίοδος	2.3
$1.50 \leq SPI \leq 1.99$	Πολύ υγρή περίοδος	4.4
$1.00 \leq SPI \leq 1.49$	Υγρή περίοδος	9.2
$0.00 \leq SPI \leq 0.99$	Κανονικές Βροχοπτώσεις	34.1
$-0.99 \leq SPI \leq 0$	Κανονικές Βροχοπτώσεις	34.1
$-1.49 \leq SPI \leq -1.00$	Ξηρασία	9.2
$-1.99 \leq SPI \leq -1.5$	Σημαντική Ξηρασία	4.4
$SPI \leq -2.00$	Εξαιρετική Ξηρασία	2.3

Πίνακας 1-6: Πίνακας ταξινόμησης ξηρασίας με βάση τον δείκτη SPI, (πηγή : Κωτσοβίνος & Αγγελίδης, 2009)

2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ

2.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΣ

Η πολιτεία της Καλιφόρνιας βρίσκεται ανάμεσα στα γεωγραφικά πλάτη 32.5° και 42° N. Η ακτογραμμή της εκτιμάται περίπου στα 2 156 km και αποτελεί περίπου τα τρία τέταρτα της συνολικής ακτογραμμής των ΗΠΑ στον Ειρηνικό Ωκεανό. Βόρεια συνορεύει με το Όρεγκον ανατολικά με την Νεβάδα και Αριζόνα και νότια με το Μεξικό.



Χάρτης 2-1:Γεωλογικός χάρτης της πολιτείας Καλιφόρνια (πηγή: Salonen 2007)

Η συνολική έκταση της πολιτείας ανέρχεται στα 411 014 km². Εάν θεωρήσουμε ένα άξονα προσανατολισμένο βορειοδυτικά – νοτιοανατολικά , η πολιτεία έχει ένα μήκος της τάξεως 1 290 km και έχει ένα μέσο πλάτος 400 km.

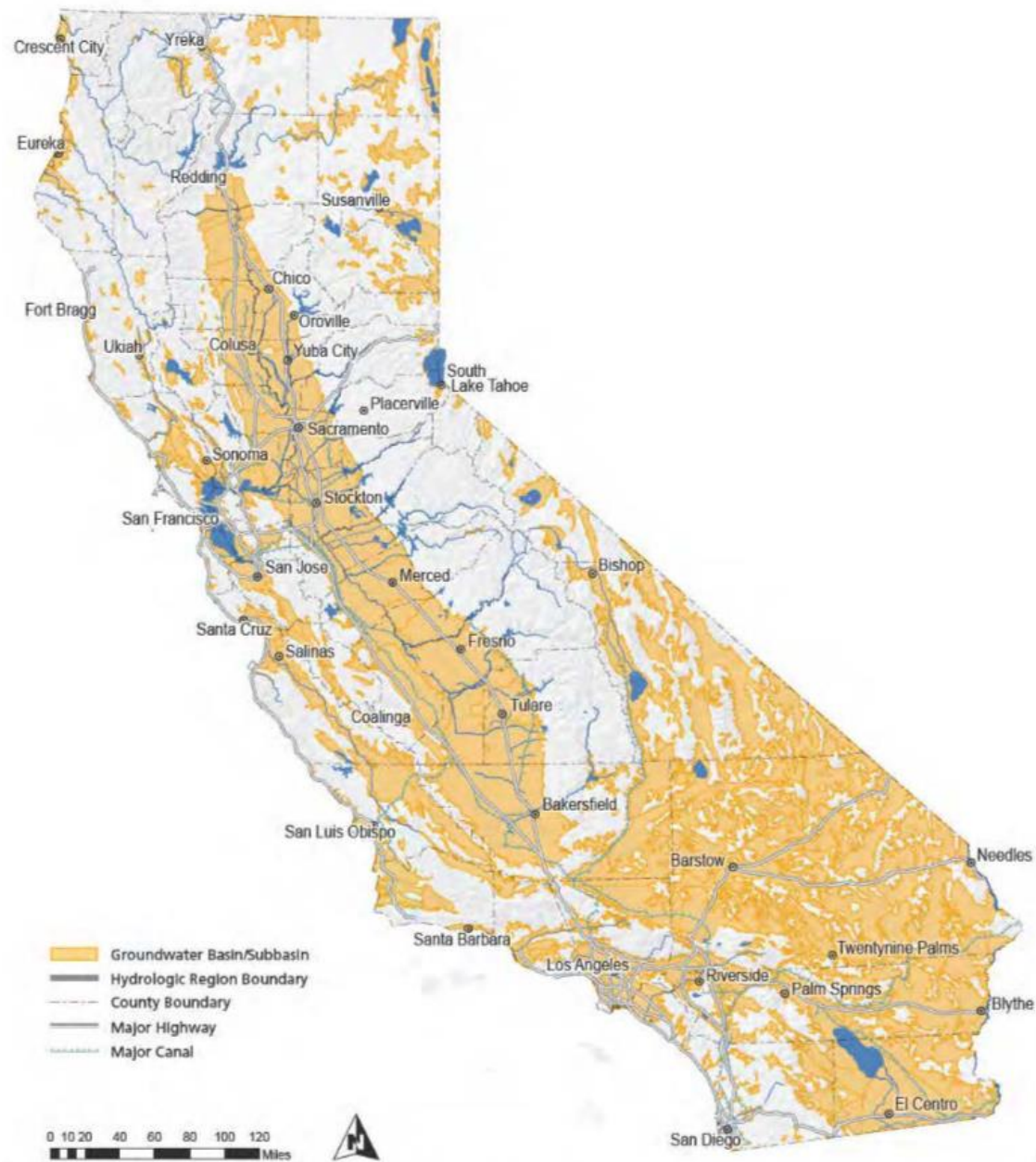
2.1.1 ΚΥΡΙΟΙ ΠΟΤΑΜΟΙ – Η ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Στο βόρειο κομμάτι ο ποταμός Pit ενώνεται με τον Sacramento river, διασχίζουν το Sacramento Valley διαμέσου της περιοχής του δέλτα και καταλήγουν στον κόλπο του San Francisco.



Χάρτης 2-2: Γεωλογικός χάρτης της πολιτείας Καλιφόρνια με τους κύριους ποταμούς (πηγή: California Department of Water Resources, 2015)

Νότια του δέλτα βρίσκεται ο San Joaquin River όπου καταλήγουν ποταμοί που πηγάζουν από τις δυτικές παρυφές της Sierra Nevada. Στην συνέχεια ο San Joaquin River ενώνεται με τον Sacramento river λίγο πριν την περιοχή του δέλτα με τελικό αποδέκτη τον κόλπο του San Francisco.



Χάρτης 2-3: Γεωλογικός χάρτης της πολιτείας Καλιφόρνια με τους υπόγειους υδροφορείς (πηγή: California Department of Water Resources, 2015)

Η πλειονότητα των ποταμών στο νότιο κομμάτι της πολιτείας τροφοδοτούνται από το χιόνι των κορυφών της Sierra Nevada και είναι αυτοί οι ποταμοί που τροφοδοτούν ταμιευτήρες

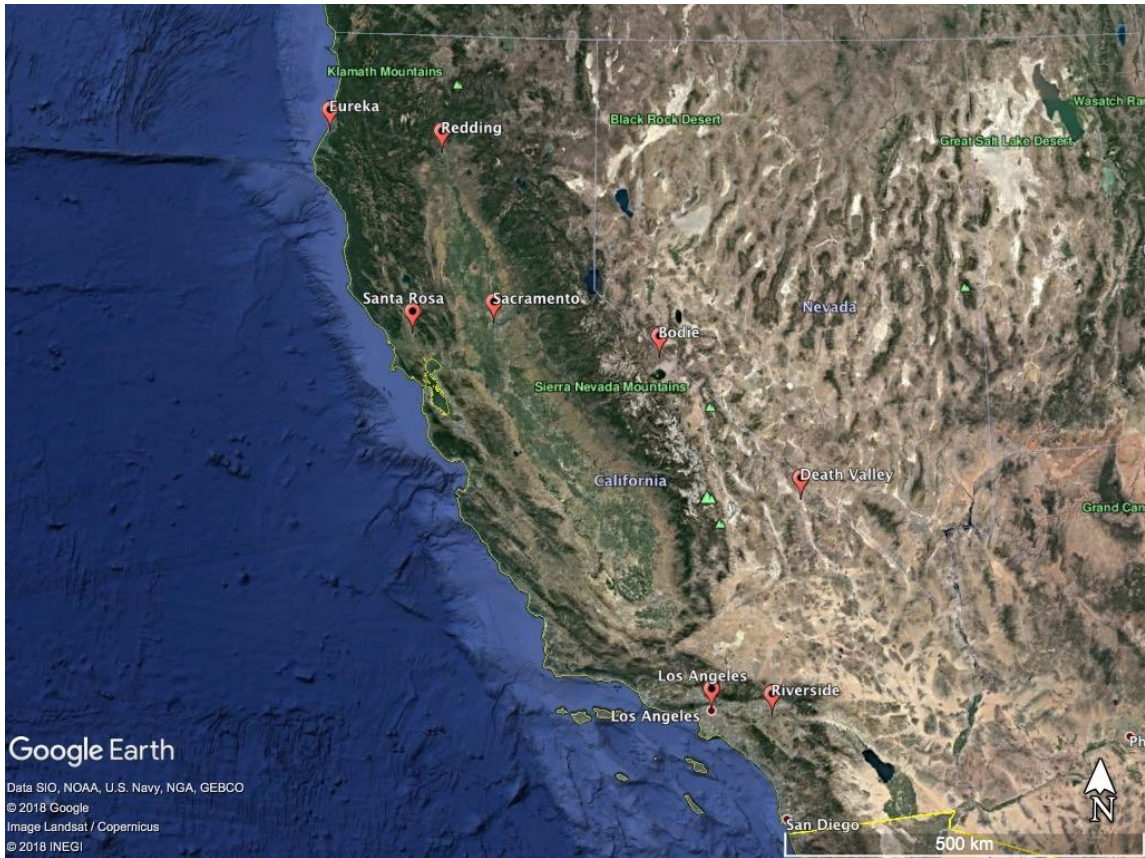
που ανήκουν στο υδροδοτικό σύστημα της Καλιφόρνια. Οι ταμιευτήρες είναι φυσικά πολλαπλού σκοπού, λειτουργούν μονάδες παραγωγής ενέργειας και σαν ρυθμιστικό έργο έναντι πλημμυρών. Αποτέλεσμα αυτού είναι να έχουμε πολύ μικρές απορροές προς την θάλασσα μιας και το μεγαλύτερο τμήμα των απορροών καταλήγει στους ταμιευτήρες. Επίσης ένα σημαντικό τμήμα των απορροών τροφοδοτεί τους υπόγειους υδροφορείς.

2.1.2 ΚΛΙΜΑ

Η Καλιφόρνια έχει μεσογειακό κλίμα με δροσερούς και υγρούς χειμώνες και ζεστά και ξηρά καλοκαίρια. Η θερμοκρασία στα όρια της πολιτείας έχει μεγάλες διακυμάνσεις. Η συμβολή του Ειρηνικού Ωκεανού στην διακύμανση αυτή καθώς όσο απομακρυνόμαστε από την ακτή, τόσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Στα νοτιοανατολικά υπάρχουν περιοχές που έχουν ερημικό κλίμα κατά Köppen. Συγκεκριμένα στο Death Valley έχουν καταγραφεί οι υψηλότερες θερμοκρασίες του πλανήτη, με το ρεκόρ θερμοκρασίας να καταγράφεται στις 10 Ιουλίου 1913 με τιμή 56,7 °C πρέπει να αναφέρουμε επίσης ότι το ίδιο καλοκαίρι υπήρχαν 43 συνεχόμενες ημέρες με θερμοκρασίες 48,8 °C και άνω. Αντιθέτως η μικρότερη θερμοκρασία ήταν βορειοδυτικά της πολιτείας στην Boca με τιμή - 42 °C. Ενδεικτικά αναφέρουμε την μέση ημερήσια (υψηλή / χαμηλή) θερμοκρασία σε μερικά σημεία της πολιτείας για καλύτερη κατανόηση της διακύμανσης.

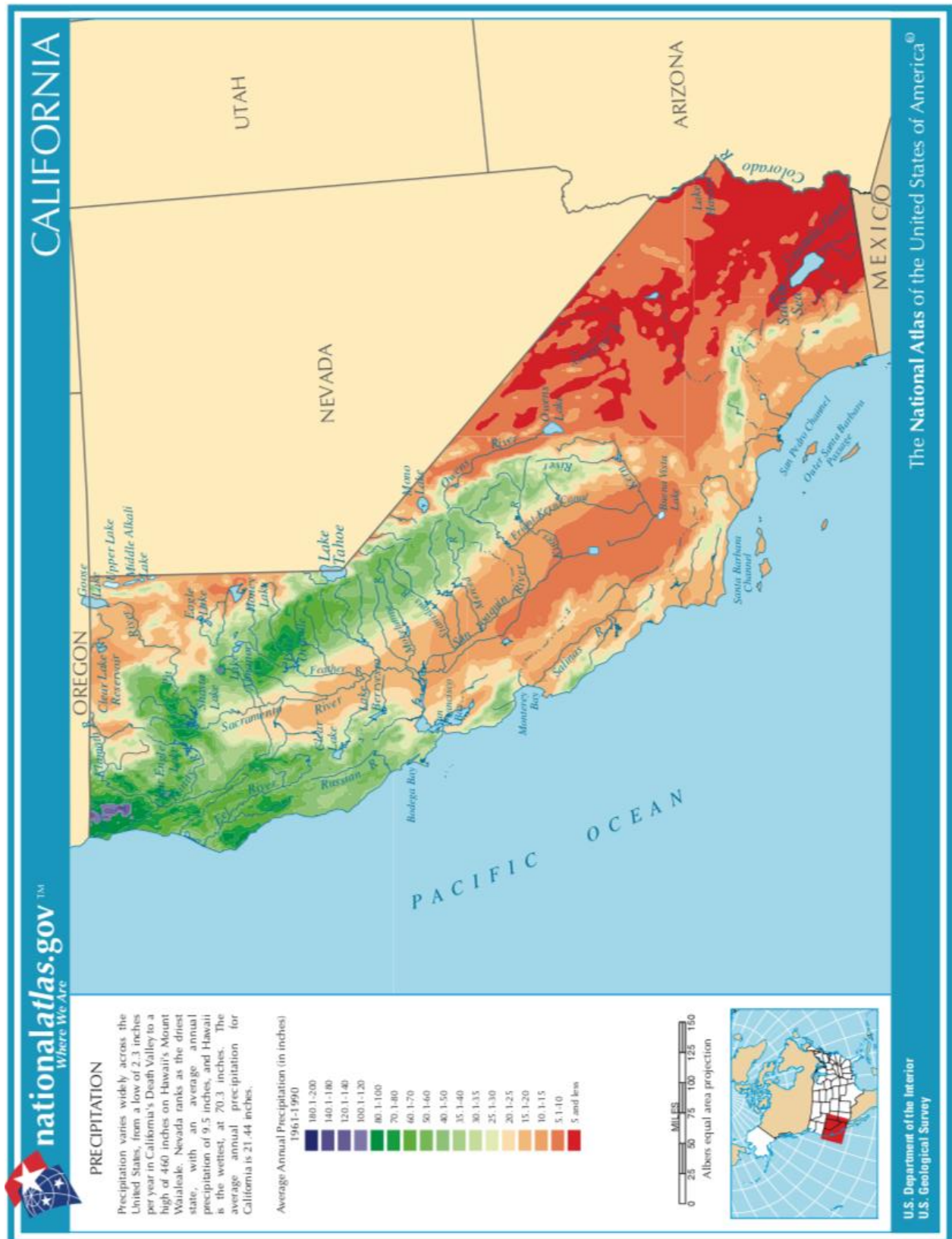
	Eureka	Redding	Santa Rosa	Sacramento	Los Angeles	Riverside	Death Valley	Bodie
Ιαν.	13 / 5	13 / 3	15 / 4	12 / 4	20 / 9	21 / 6	19 / 4	4 / -15
Φεβ.	13 / 6	16 / 4	17 / 5	16 / 5	21 / 9	21 / 7	23 / 8	5 / -14
Μαρτ.	14 / 6	18 / 6	19 / 6	18 / 7	21 / 11	23 / 8	28 / 13	7 / -12
Απρ.	14 / 7	22 / 8	21 / 7	22 / 8	23 / 12	26 / 10	33 / 17	10 / -8
Μάϊος	16 / 9	27 / 12	24 / 9	27 / 11	24 / 14	28 / 13	38 / 23	16 / -4
Ιούν.	17 / 10	32 / 16	27 / 11	31 / 13	26 / 16	32 / 16	43 / 27	21 / -1
Ιούλ.	17 / 11	37 / 19	28 / 11	33 / 14	28 / 18	35 / 18	47 / 31	26 / 1
Αυγ.	18 / 12	36 / 17	28 / 12	33 / 14	29 / 18	36 / 18	46 / 30	25 / 0
Σεπτ.	18 / 10	32 / 14	28 / 11	31 / 13	28 / 17	33 / 16	42 / 24	22 / -3
Οκτωβ.	17 / 8	26 / 10	26 / 9	26 / 10	26 / 15	28 / 13	34 / 17	16 / -8
Νοέμβ.	14 / 7	17 / 5	19 / 6	18 / 6	23 / 11	24 / 8	25 / 9	9 / -12
Δεκ.	13 / 5	13 / 2	15 / 4	12 / 3	20 / 9	20 / 6	18 / 3	5 / -14

Πίνακας 2-1: Πίνακας με μέση υψηλή/χαμηλή θερμοκρασία σε °C



Χάρτης 2-4: Χάρτης με τις επιλεγμένες τοποθεσίες

Ο κύριος όγκος των κατακρημνισμάτων έρχεται τους χειμερινούς μήνες και συγκεκριμένα την περίοδο Οκτωβρίου – Απριλίου. Το ύψος βροχής έχει μεγάλη διακύμανση από περιοχή σε περιοχή όπως και η θερμοκρασία. Ενδεικτικά υπάρχουν περιοχές στο νοτιοανατολικό τμήμα της πολιτείας όπως Mojave Desert όπου το ύψος βροχής είναι 120 mm στις δυτικές ακτές στην περιοχή του San Francisco με ύψος βροχής τα 380 mm και περιοχές όπως το Redwood National and State Park στο βορειοδυτικό τμήμα της πολιτείας, όπου φύεται η σεκόια η αιθαλής, με ύψος βροχής 2 500 mm. Όσον αφορά τις χιονοπτώσεις, ο κύριος όγκος λαμβάνει χώρα στις κορυφές των Cascades της Sierra Nevada, και πολύ σπάνια δυτικά αυτών.



Χάρτης 2-5: Χάρτης όπου αποτυπώνονται με τα ύψη βροχόπτωσης στην πολιτεία της Καλιφόρνιας (πηγή: U.S Geological Survey, 2018)

2.1.3 ΞΗΡΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ

Η ξηρασία δεν είναι φαινόμενο ανοίκειο για την πολιτεία. Μάλιστα θα έλεγε κανείς ότι είναι κομμάτι του κλίματος. Από το 1900 εννέα περιστατικά ξηρασίας έχουν καταγραφεί, γεγονότα που επηρέασαν και την ιστορία της πολιτείας. Οι ιστορικά καταγεγραμμένες ξηρασίες (χαρακτηρισμένες βάσει απορροών, υδρολογικές ξηρασίες) είναι οι ακόλουθες :

1. 1918 – 1920
2. 1923 – 1926
3. 1928 – 1935
4. 1947 – 1950
5. 1959 – 1962
6. 1976 – 1977
7. 1987 – 1992
8. 2000 – 2002
9. 2007 – 2009

Κάποια από τα περιστατικά αυτά ήταν και η αφορμή για την δημιουργία των σημαντικότερων έργων υποδομής για το νερό στην Καλιφόρνια. Πιο συγκεκριμένα η ξηρασία των 1928 – 1935 για το Central Valley Project και το 1947 – 1950 για το State Water Project (τα έργα περιγράφονται σε επόμενη ενότητα).

Οι ιστορικά καταγεγραμμένες ξηρασίες δεν ήταν και οι μοναδικές. Σύμφωνα με ανακατασκευή χρονοσειρών απορροών από μελέτη δακτυλίων δέντρων για τους ποταμούς Sacramento και San Joaquin (Meko et al., 2014) οι πολυετείς ξηρασίες ήταν αρκετά συχνό φαινόμενο στην περιοχή. Παραθέτουμε τον πίνακα με τα αποτελέσματα της έρευνας.

Ποταμός Sacramento		Ποταμός San Joaquin	
Έτη	Διάρκεια	Έτη	Διάρκεια
921-924	4	946-950	5
945-950	6	977-981	5
975-981	7	1072-1075	4
1072-1075	4	1143-1148	6
1130-1136	7	1155-1158	4
1143-1148	6	1172-1177	6
1150-1158	9	1210-1213	4
1170-1177	8	1233-1239	7
1233-1239	7	1294-1301	8
1292-1301	10	1395-1402	8
1390-1393	4	1407-1410	4
1395-1400	6	1425-1428	4
1407-1410	4	1450-1461	12
1425-1432	8	1463-1466	4
1451-1457	7	1471-1483	13
1475-1483	9	1505-1508	4
1515-1521	7	1518-1523	6
1540-1543	4	1540-1545	6
1569-1572	4	1569-1572	4
1578-1582	5	1578-1582	5
1592-1595	4	1592-1595	4
1636-1639	4	1629-1632	4
1645-1648	4	1645-1648	4
1652-1655	4	1652-1655	4
1753-1760	8	1688-1691	4
1780-1783	4	1753-1757	5
1793-1796	4	1780-1783	4
1856-1859	4	1793-1796	4
-	-	1843-1846	4
-	-	1855-1859	5

Πίνακας 2-2: Πίνακας με τα έτη ξηρασίας και την διάρκειά τους σύμφωνα με τις απορροές των ποταμών Sacramento και San Joaquin (Meko et al.,2014)

2.1.4 ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΤΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΣ

Η οικονομία της Καλιφόρνιας είναι η μεγαλύτερη ανάμεσα στις πολιτείες της Αμερικής. Μάλιστα για το έτος 2017 η πολιτεία έλαβε την 5η θέση παγκοσμίως πάνω από την Μεγάλη Βρετανία με το Α.Ε.Π να φτάνει τα 2 746 000 000 000 \$. Η συνεισφορά του κάθε τομέα στο Α.Ε.Π φαίνεται στους παρακάτω πίνακες.

Χρηματοοικονομικά, Ασφάλειες, Κτηματομεσιτικά, Ενοικιάσεις και Χρονομισθώσεις (Finance, insurance, real estate, rental and leasing)	595 932 000 000 \$
Επαγγελματικές και επιχειρηματικές υπηρεσίες (Professional and business services)	352 378 000 000 \$
Κυβέρνηση και κυβερνητικές υπηρεσίες (Government and government services)	329 350 000 000 \$
Βιομηχανία-Βιοτεχνία (Manufacturing)	300 345 000 000 \$
Πληροφορική (Information)	240 295 000 000 \$
Υπηρεσίες εκπαίδευσης, υγείας και κοινωνικής προσφοράς (Educational services, health care and social assistance)	197 720 000 000 \$
Λιανικό εμπόριο (Retail trade)	152 329 000 000 \$
Χονδρικό εμπόριο (Wholesale trade)	148 868 000 000 \$
Τέχνες, διασκέδαση, αναψυχή, υπηρεσίες στέγασης και σίτισης (Arts, entertainment, recreation, accommodation and food services)	117 762 000 000 \$
Κατασκευές (Construction)	107 548 000 000 \$
Μεταφορές και αποθήκευση (Transportation and warehousing)	69 234 000 000 \$
Αγροτικό προϊόν, δασοκομία, κυνήγι και αλιεία (Agriculture, forestry, fishing and hunting)	35 600 000 000 \$
Υπηρεσίες κοινής ωφέλειας (Utilities)	29 559 000 000 \$
Εξόρυξη πρώτων υλών από το έδαφος και το υπέδαφος. (Mining, quarrying and oil and gas extraction)	10 037 000 000 \$
Λοιπά (Other)	59 043 000 000 \$

Πίνακας 2-3: Η συνεισφορά του κάθε τομέα στο ΑΕΠ της Καλιφόρνιας από δεδομένα του Bureau of Economic Analysis U.S Department of Commerce (2018)



Πίνακας 2-4: Η ποσοστιαία συνεισφορά του κάθε οικονομικού τομέα στο ΑΕΠ της πολιτείας της Καλιφόρνιας από δεδομένα του Bureau of Economic Analysis U.S Department of Commerce, (2018)

Ο αγροτικός τομέας είναι από τους σημαντικότερους στην Καλιφόρνια. Είναι ο πέμπτος παραγωγός αγροτικών προϊόντων παγκοσμίως και πρώτος εξαγωγέας αμυγδάλου παγκοσμίως. Όσον αφορά τις ΗΠΑ η Καλιφόρνια είναι πρώτος παράγωγος ανάμεσα στις πολιτείες, παράγει τα 2/3 των φρούτων και ξηρών καρπών, το 1/3 των λαχανικών και το 1/5 του γάλακτος.

Παρόλο που η συνεισφορά του δεν είναι μεγάλη σε όρους ΑΕΠ η συνολική συνεισφορά του τομέα είναι ακόμη μεγαλύτερη. Το California Department of Food and Agriculture (CFDA) αναφέρει πως οι πωλήσεις προϊόντων είναι 40 000 000 000 \$ αλλά η συνεισφορά του στην οικονομία της πολιτείας είναι πάνω από 100 000 000 000 \$. Πράγματι σε μελέτη των Sexton et al.(2009; 2015) διατυπώνεται ότι η συνεισφορά για το 2012 είναι 82 000 000 000 \$ σε προστιθέμενη αξία και για κάθε 100 θέσεις εργασίας στον αγροτικό τομέα δημιουργούνται άλλες 92 θέσεις εργασίας στην πολιτεία.

2.1.5 ΤΟ ΝΟΜΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ

Η Καλιφόρνια έχει ένα μοναδικό καθεστώς για το δικαίωμα στην χρήση των επιφανειακών υδάτων το οποίο έχει προκύψει μέσα από την ιστορική της εξέλιξη (η έννοια της χρήσης νερού, πέρα από το προφανές, επιτρέπει την αποθήκευση νερού για 30 ημέρες). Το δικαίωμα χρήσης του νερού έχει κατηγορίες που καθορίζουν την προτεραιότητα αναμεσά στους χρήστες.. Οι κατηγορίες δικαιωμάτων είναι οι παρακάτω :

- *Pueblo water rights*: Η κατηγορία αυτή αφορά όλες τις αποικίες/εγκαταστάσεις που δημιουργήθηκαν υπό το καθεστώς της Ισπανικής-Μεξικάνικης κυριαρχίας, πριν την προσάρτηση της πολιτείας στην κοινοπολιτεία το 1848. Σύμφωνα με τον Ισπανικό νόμο το pueblo είχε το δικαίωμα χρήσης όλων των επιφανειακών υδάτων που βρισκόταν μέσα στα φυσικά όρια της. Σήμερα η πολιτεία αναγνωρίζει το δικαίωμα αυτό με μόνη διαφορά ότι επιτρέπει την χρήση του νερού μέσα στα όρια του pueblo και απαγορεύει την εξαγωγή νερού.
- *Riparian water rights*: Η κατηγορία προκύπτει από νόμο που υιοθετήθηκε από την Αγγλία. Riparian είναι ο παρόχθιος. Σύμφωνα με τον νόμο αυτό, σε μία ιδιοκτησία από την οποία διέρχεται ένα επιφανειακό νερό ή εφάπτεται στα όρια της, ο ιδιοκτήτης έχει το δικαίωμα χρήσης αυτού νερού και δεν μπορεί να διεκδικηθεί από κάποιον άλλο. Η κατηγορία αυτή έχει δύο υποκατηγορίες.
 1. *Senior riparian water rights* : Αφορά τις ιδιοκτησίες που δημιουργήθηκαν το διάστημα 1848 – 1914
 2. *Junior riparian water rights* : Αφορά τις ιδιοκτησίες που δημιουργήθηκαν από το 1914

Ανάμεσα στις δύο υποκατηγορίες προτεραιότητα έχουν αυτοί που έχουν ανήκουν στην πρώτη υποκατηγορία (*senior riparian water right holder*)

- *Appropriative water rights*: Η κατηγορία αυτή αφορά του χρήστες που εξέτρεπαν το επιφανειακό νερό σε ιδιοκτησίες οι οποίες δεν μπορούσαν να εδραιώσουν δικαίωμα της προηγούμενης κατηγορίας. Η ανάγκη αυτή προέκυψε κυρίως από τον πυρετό του χρυσού στην Καλιφόρνια (California Gold Rush) που ξεκίνησε το 1848 . Οι τότε χρυσοβρύχοι χρησιμοποιούσαν το νερό για την εξόρυξη του χρυσού (βλ. κεφ 2.2.1).

Οι riparian water right holders έχουν προτεραιότητα έναντι των appropriative water right holders.

Τέλος για την πολιτεία της Καλιφόρνια ισχύουν οι δύο παρακάτω κανόνες όσον αφορά την χρήση του νερού (*public trust doctrine*):

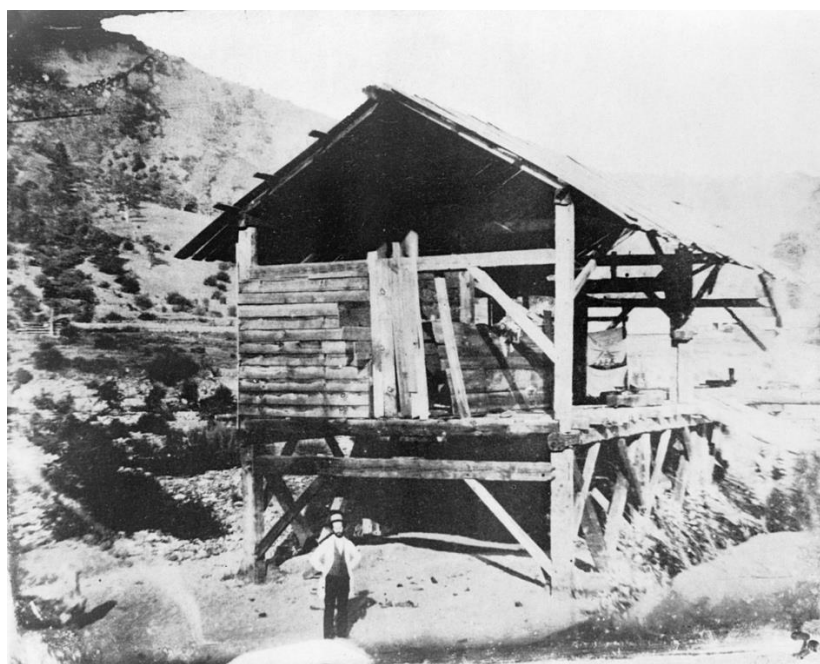
- Πρώτον, σύμφωνα με το σύνταγμα της πολιτείας, η χρήση του νερού πρέπει να είναι λογική και επωφελής. Σε αντίθετη περίπτωση το δικαίωμα ανακαλείται.
- Δεύτερον, το νερό δεν ανήκει σε κανέναν, ανήκει στην πολιτεία η οποία θεωρείται αξιόπιστη και δρα προς το κοινό όφελος. Έχοντας αυτά τα χαρακτηριστικά, έχει επιφορτιστεί με την διαχείριση των υδατικών πόρων, ώστε να διασφαλίζονται τα μέγιστα οφέλη για τους πολίτες. Τα οφέλη ορίζονται ως οικονομικά, αναψυχής, αισθητικά και περιβαλλοντικά. Τις αρμοδιότητες αυτές τις έχει το State Water Board of California (SWBC).

2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ – Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΣ

2.2.1 ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΧΡΟΝΙΑ ΤΗΣ ΠΟΛΙΤΕΙΑΣ

Προκειμένου να κατανοήσουμε το σύστημα διαχείρισης υδατικών πόρων της Καλιφόρνιας αλλά και να εντοπίσουμε την πηγή των προβλημάτων του είναι απαραίτητο να ανατρέξουμε στην ιστορία και να δούμε την εξέλιξη του μέσα στον χρόνο.

Η πρώτη ημερομηνία ορόσημο είναι το 1848 με την λήξη του πολέμου μεταξύ Η.Π.Α και Μεξικό. Ο πληθυσμός τότε της Καλιφόρνια ήταν περίπου 160 000 από τους οποίους μόνο οι 10 000 ήταν μη γηγενείς. Την ίδια χρονιά ο James Wilson Marshall, ένας ξυλουργός ο οποίος είχε αναλάβει να κατασκευάσει ένα νερόμυλο στον American River κοντά στην πόλη Coloma, ανακάλυψε νιφάδες χρυσού μέσα στον ποταμό. Τούτο το γεγονός ήταν και η έναρξη του πυρετού του χρυσού (California Gold Rush).



Εικόνα 2-1: Ο νερόμυλος που κατασκεύασε ο J.W.Marshall όπου ανακάλυψε και τις νιφάδες χρυσού (πηγή : U.S Congress Library, ανάκτηση 2018)

Μετά από ένα χρόνο ο πληθυσμός των μη γηγενών έφτασε τις 100 000 και μετά από επτά χρόνια τις 300 000. Μικρά χωριά γινόντουσαν πόλεις για να απορροφήσουν αυτά τα κύματα πληθυσμού. Απόρροια αυτής της μετακίνησης και της απουσίας υποδομών (ύδρευση-

αποχέτευση) να εμφανίζονται ασθένειες λόγω της ελλιπούς υγιεινής και φυσικά να υπάρχει και αυξημένη θνησιμότητα. Το 1900 ο πληθυσμός θα φτάσει το 1 500 000 με τους γηγενείς σιγά σιγά να εξαλείφονται.

Η εξόρυξη του χρυσού που εξελίχθηκε ταχύτατα, με τους χρυσορύχους να χρησιμοποιούν ευρύτατα το νερό για την εξόρυξη αλλά και μετακίνηση του. Χρησιμοποιούσαν νερό υπό πίεση για να σπάσουν τους βράχους και να μετακινήσουν τα ιζήματα προκειμένου να γίνει η εξόρυξη χρυσού.



Εικόνα 2–2: Άποψη χρυσορύχων στην Καλιφόρνια στο διάστημα 1857 -1870 (πηγή : Denver Public Library U.S, ανάκτηση 2018)

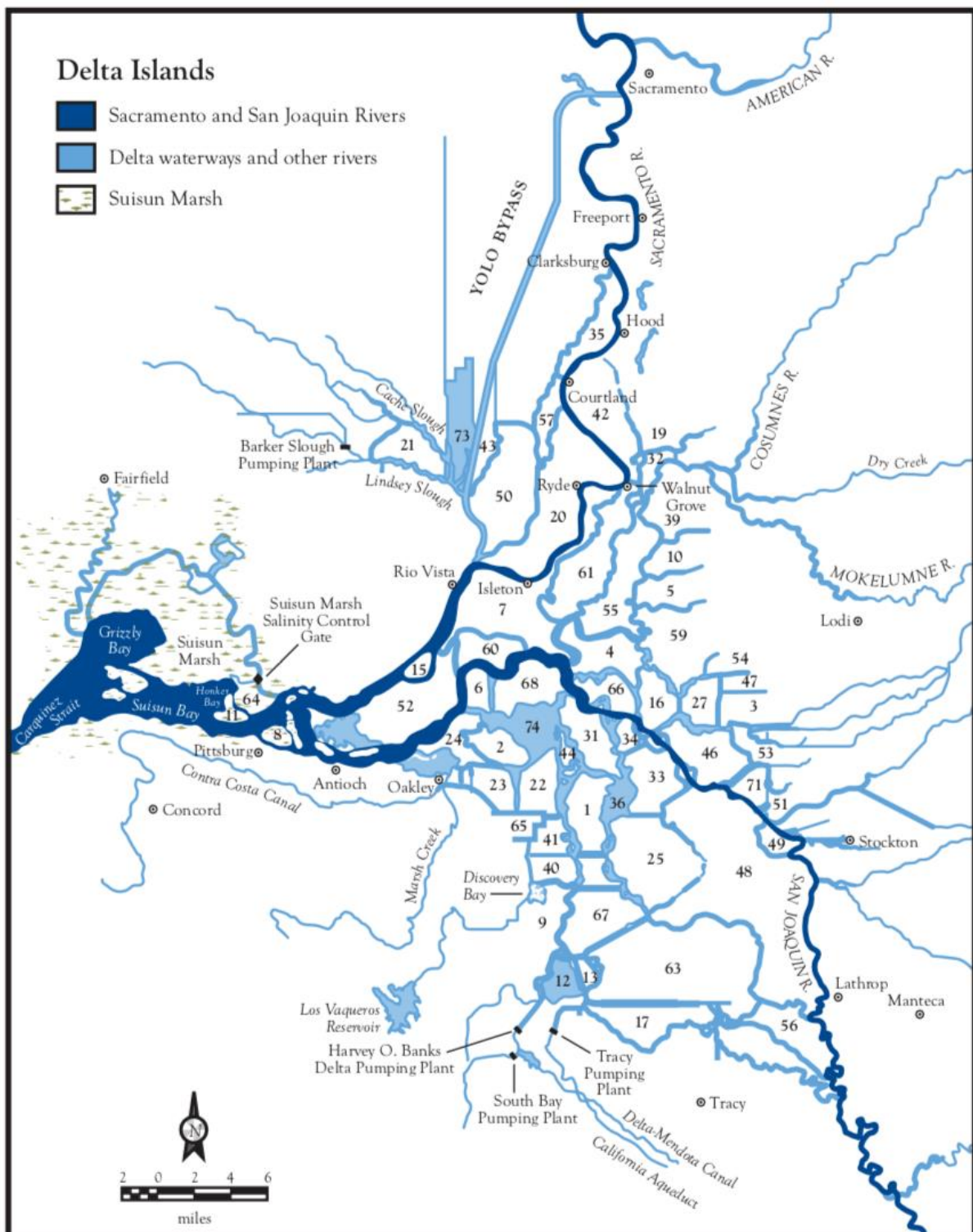
Η εκτροπή του νερού, για να πραγματοποιηθεί αυτή η υδραυλική εξόρυξη, έγινε με την κατασκευή ξύλινων καναλιών και κατάλληλων ορυγμάτων που οδηγούσαν το νερό μακριά από την κοίτη των ποταμών, απόσταση που έφτανε μερικές φορές την τάξη των χιλιομέτρων. Για να απομακρύνουν τα υπολείμματα των εξορύξεων – φερτά, χρησιμοποιούσαν παρόμοια κανάλια και τα οδηγούσαν πίσω στις κοίτες των ποταμών. Το 1880 το μήκος αυτών των έργων εκτροπής έφτανε μήκος περίπου τα 9 500 km . Η τακτική αυτή των χρυσορύχων είχε δύο κύριες επιπτώσεις.

Η πρώτη επίπτωση αφορούσε όλους τους κτηματίες των παρόχθιων περιοχών οι οποίοι αντιμετώπιζαν έλλειψη νερού για τις καλλιέργειες με το φαινόμενο να εντείνεται στις περιόδους ξηρασίας. Αποτέλεσμα αυτής της δικαστικής διένεξης ήταν η πρώτη νομολογία της πολιτείας της Καλιφόρνια για το νερό (appropriative rights, 1855) η οποία υιοθετούσε το δόγμα των χρυσωρύχων που έλεγε 'first-in-time, first-in-right' (προτεραιότητα σε αυτόν που έφτασε πρώτος).

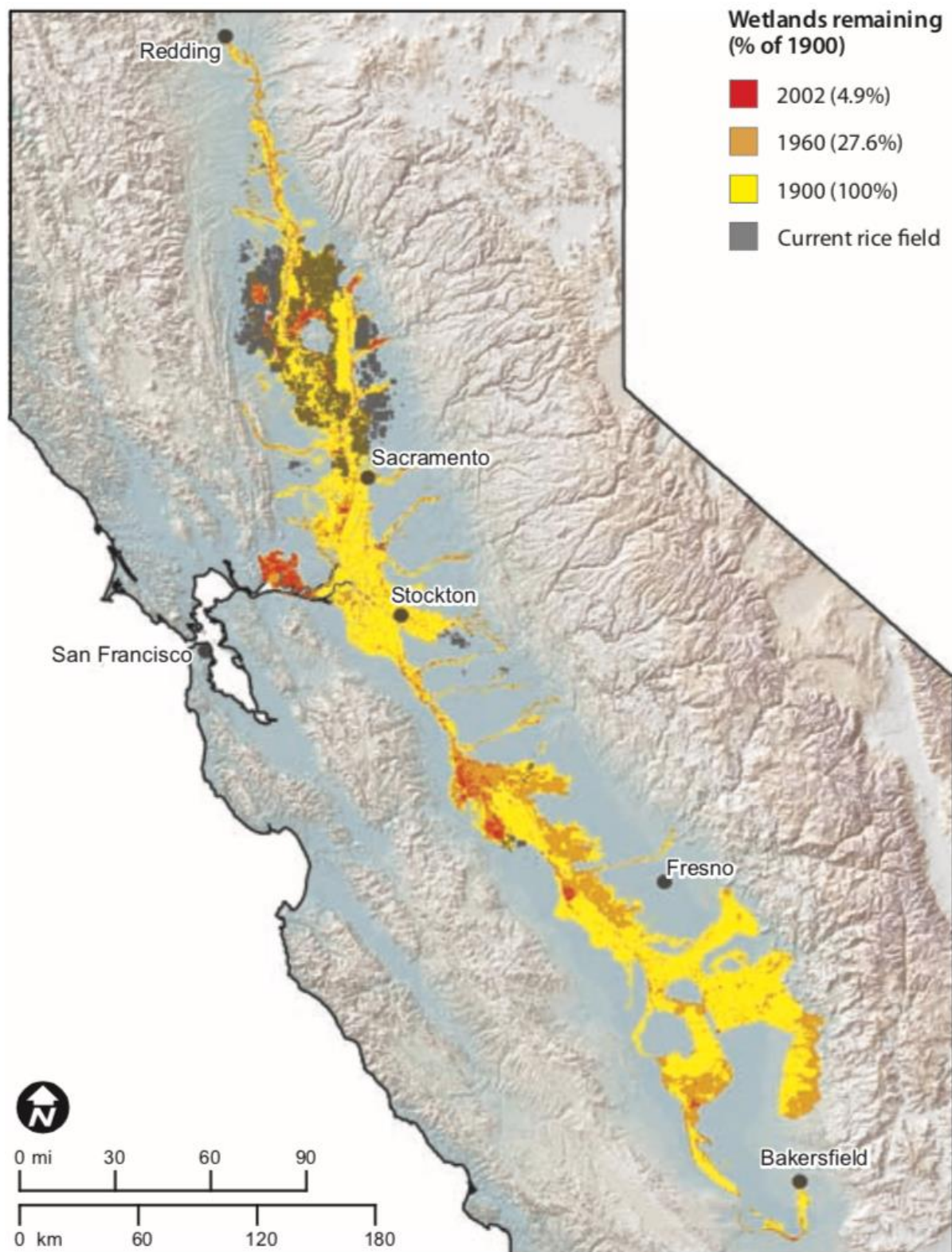
Η δεύτερη επίπτωση αφορούσε το περιβάλλον και συγκεκριμένα τις κοίτες των ποταμών. Όπως αναφέραμε οι χρυσωρύχοι απέρριπταν τα υπολείμματα της εξόρυξης πίσω στις κοίτες των ποταμών. Εκτιμάται ότι ο συνολικός όγκος των φερτών που απορρίφθηκαν με αυτόν τον τρόπο φτάνει τα $1,2 \times 10^9 \text{ m}^3$ (Gilbert, 1917). Τα φερτά αυτά μείωσαν την παροχτετευτικότητα των ποταμών με αποτέλεσμα να είναι πιο ευάλωτοι στις πλημμύρες. Παράλληλα το επεισόδιο της πλημμύρας μετακινούσε τα φερτά στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις, καθιστώντας τις άγονες. «Το 1862, οι συνεχόμενες μπόρες προκάλεσαν πλημμύρες σε όλα τα σημεία της Πολιτείας προκαλώντας τεράστιες καταστροφές και μετατρέποντας την Central Valley σε μια θάλασσα μήκους 200 μιλίων (321,8 km) και πλάτους 60 (96,6 km)» (Kelley, 1989).

Παράλληλα από το 1855 είχε αρχίσει αλματώδης ανάπτυξη της αγροτικής δραστηριότητας. Οι αγρότες οργανωνόντουσαν σε φάρμες οι οποίες ήταν παρόχθιες, για να έχουν πρόσβαση στο νερό ή σε κτήματα που με απλά έργα εκτροπής (μικρά κανάλια κ.λπ) μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν το νερό των ποταμών. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι από το 1859 έως το 1929 ο αριθμός από τις φάρμες είχε αυξηθεί κατά 700 % με αριθμό από 19 000 σε 136 000 με την έκταση κάθε φάρμας να είναι 475 εκτάρια ($1,92 \text{ km}^2$) το 1859 σε 260 εκτάρια ($1,05 \text{ km}^2$) το 1929 (A.L.Olmstead and P.W.Rhode, 2017). Η ανάγκη για αντιπλημμυρική προστασία αλλά και η αναζήτηση κατάλληλων γαιών, με πρόσβαση σε νερό οδήγησε τις τοπικές κοινότητες στο να οργανωθούν και να ξεκινήσουν την κατασκευή παρόχθιων αναχωμάτων. Τα αναχώματα αυτά περιόριζαν την πλημμυρική κοίτη των ποταμών, τμήμα της οποίας γινόταν καλλιεργήσιμη έκταση. Βέβαια τα αναχώματα αυτά δεν ήταν αποτελεσματικά, η κατάρρευση και η υπερπήδηση των οποίων ήταν συχνό φαινόμενο. Ορισμένες φορές κατέφευγαν και σε άλλες λύσεις. «Το να κατασκευάσουν αναχώματα, ικανά για να αντιμετωπίσουν μια πλημμύρα ήταν αρκετά πιο ακριβό από το να γκρεμίσουν αυτά των γειτόνων» (Kelley, 1989). Μετά την ψήφιση του Swamp Land Act¹ 1850 η περιοχή του δέλτα των ποταμών Sacramento και San Joaquin με την τακτική αυτή σταδιακά μετέτρεψε αυτόν υδροβιότοπο σε ένα σύμπλεγμα νήσων. Σήμερα το ανάπτυγμα των αναχωμάτων είναι περίπου 1 800 km και η καλλιεργήσιμη έκταση περί τα $2 180 \text{ km}^2$.

¹ Ο ομοσπονδιακός αυτός νόμος επέτρεπε την αποξήρανση υγροτόπων προκειμένου να γίνουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις



Χάρτης 2-6: Χάρτης του δέλτα των ποταμών Sacramento και San Joaquin (πηγή: Department of Water Resources CA U.S, 1995)



Χάρτης 2-7: Χάρτης με την εξέλιξη των υγροτόπων στην Καλιφόρνια (Hanak et al, PPIC 2011)

Πρέπει να αναφέρουμε ότι από το 1880 η U.S Army Corps of Engineers ενεπλάκησαν με το θέμα των αναχωμάτων και την διαμόρφωση του δέλτα των ποταμών. Η πρώτη απόπειρα για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα των φερτών από την υδραυλική εξόρυξη ήταν να φτιάξουν

παγίδες ιζημάτων (brush dam). Εφαρμόστηκε αυτή η ιδέα στους ποταμούς Yuba και Bear αλλά οι κατασκευές αστόχησαν μέσα σε ένα έτος (Hanak et al., 2011). Η δεύτερη στρατηγική (που επικράτησε) ήταν να κατασκευάζονται τα αναχώματα κοντά στις όχθες των ποταμών για να έχουν την κατάλληλη πρόσβαση για βυθοκορήσεις.

2.2.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΣ

Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα περιορίζονταν στις παρόχθιες περιοχές και σε περιοχές όπου ήταν δυνατή η εκτροπή του νερού, όπως αναφέραμε προηγουμένως. Η πρόσβαση τους υπόγειους υδροφορείς περιοριζόταν σε αρτεσιανές πηγές. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας όμως (μηχανή εσωτερικής καύσης, εξέλιξη στην τεχνολογία των γεωτρήσεων και αντλιών κ.λπ) έδωσε μια νέα πρόσβαση σε νερό. Όπως ήταν φυσικό, δημιουργήθηκαν νέες καλλιεργήσιμες εκτάσεις μιας και η αγροτική δραστηριότητα άκμαζε. Με την υπέρμετρη αγροτική δραστηριότητα οδήγησε στην ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα και στην ανάγκη να φτάσουν σε μεγαλύτερα βάθη για πρόσβαση με μερικές γεωτρήσεις να ξεπερνούν τα 90 μέτρα (Hanak et al., 2011).

Με τις ανάγκες ολοένα αυξανόμενες και από την ανάπτυξη των μεγάλων πόλεων, ήταν σαφές ότι πρέπει να γίνουν μεγάλα ρυθμιστικά έργα για υδροδότηση.

2.2.2.1 ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΑ ΈΡΓΑ ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ COLORADO

Το 1905 έπειτα από ένα μεγάλο πλημμυρικό γεγονός στον ποταμό Colorado, που δημιούργησε και την Salton Sea, έγινε σαφής η ανάγκη μιας σειράς ρυθμιστικών έργων για να εξομαλυνθούν οι παροχές στον ποταμό για αντιπλημμυρική προστασία αλλά και για άρδευση. Μέχρι το 1905, ο ποταμός είχε μια σειρά έργων εκτροπής τα οποία εξυπηρετούσαν τους αγρότες της περιοχής. Το πρώτο μεγάλο ρυθμιστικό έργο έγινε στον ποταμό Colorado προς όφελος των αγροτών της Imperial Valley, το Boulder Canyon Project. Το έργο ήταν διαπολιτειακό, αφού εξυπηρετούσε μια σειρά από πολιτείες (Arizona, Nevada, California), χρηματοδοτήθηκε από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση και αποτελείται από το Boulder Dam, μετονομάστηκε το 1947 σε Hoover Dam, που βρίσκεται στην Nevada, νότια του Las Vegas. Η κατασκευή του ξεκίνησε το 1928 με την ψήφιση του Boulder Canyon Project Act το 1928 και ολοκληρώθηκε το 1936. Το φράγμα είναι τοξωτό βαρύτητας από οπλισμένο σκυρόδεμα και έχει ύψος 221,4 m, μήκος στέψης 379 m, πλάτος στέψης 14 m, πλάτος βάσης 200 m και

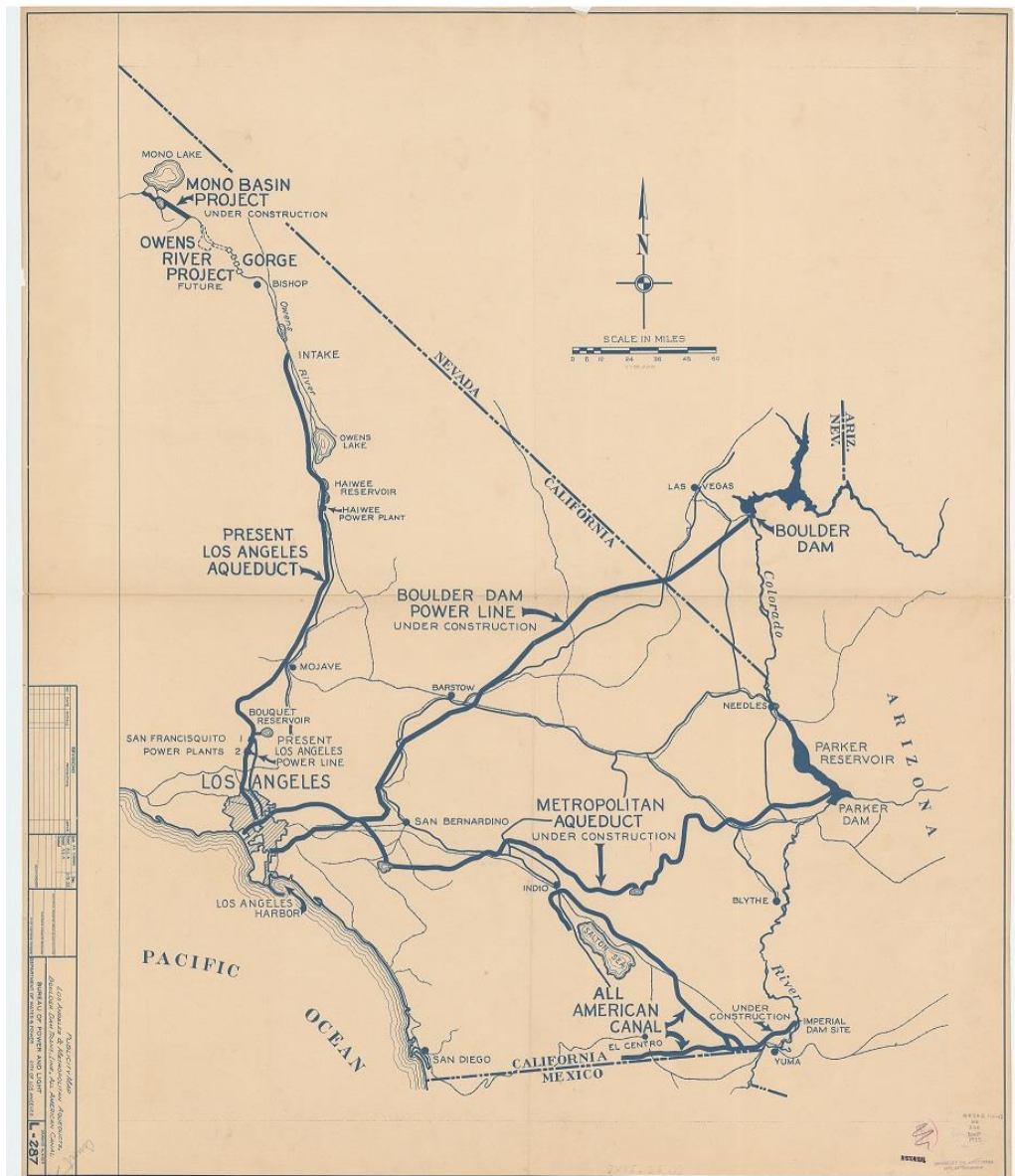
χωρητικότητα $2\,480\,000\text{ m}^3$. Επίσης έχει δύο πλευρικούς υπερχειλιστές με παροχευτική ικανότητα $5\,700\text{ m}^3/\text{s}$ έκαστος.



Εικόνα 2-3: Φωτογραφία του Hoover Dam από τον Ansel Adams την περίοδο 1941-1942 (πηγή :Wikipedia, ανάκτηση 2018)

Παράλληλα η πολιτεία της Καλιφόρνιας ενέκρινε την κατασκευή του Imperial Diversion Dam, που βρίσκεται στην California, βόρεια της πόλης Yuma, του Parker Dam, που βρίσκεται στα σύνορα California και Arizona και του All-American Canal που είναι ένα κανάλι εκτροπής που οδηγεί το νερό από τον ποταμό Colorado στην Imperial Valley. Με το σύνολο αυτών των ρυθμιστικών έργων, είχαν απόλυτο έλεγχο στον ποταμό Colorado πράγμα που οδήγησε σε μεγάλη ανάπτυξη της Imperial Valley αλλά και των όμορων μεγαλουπόλεων, Los Angeles, San Diego και Orange County, που επωφελήθηκαν του έργου μέσω του Colorado Aqueduct. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ο πληθυσμός των πόλεων αυτών ήταν 4 εκατομμύρια πριν την ολοκλήρωση του έργου (1940) και 30 χρόνια αργότερα θα γίνει 10 εκατομμύρια (Hanak et al., 2011). Από τον έλεγχο του νερού δημιουργήθηκαν και μεγάλες διενέξεις μεταξύ Καλιφόρνια και Αριζόνα αλλά και των Ηνωμένων Πολιτειών με το

Μεξικό μιας και η πρώτη χρησιμοποιούσε σχεδόν το σύνολο του νερού, παράγοντας που απέκλειε την ανάπτυξη, στους υπολοίπους δύο.

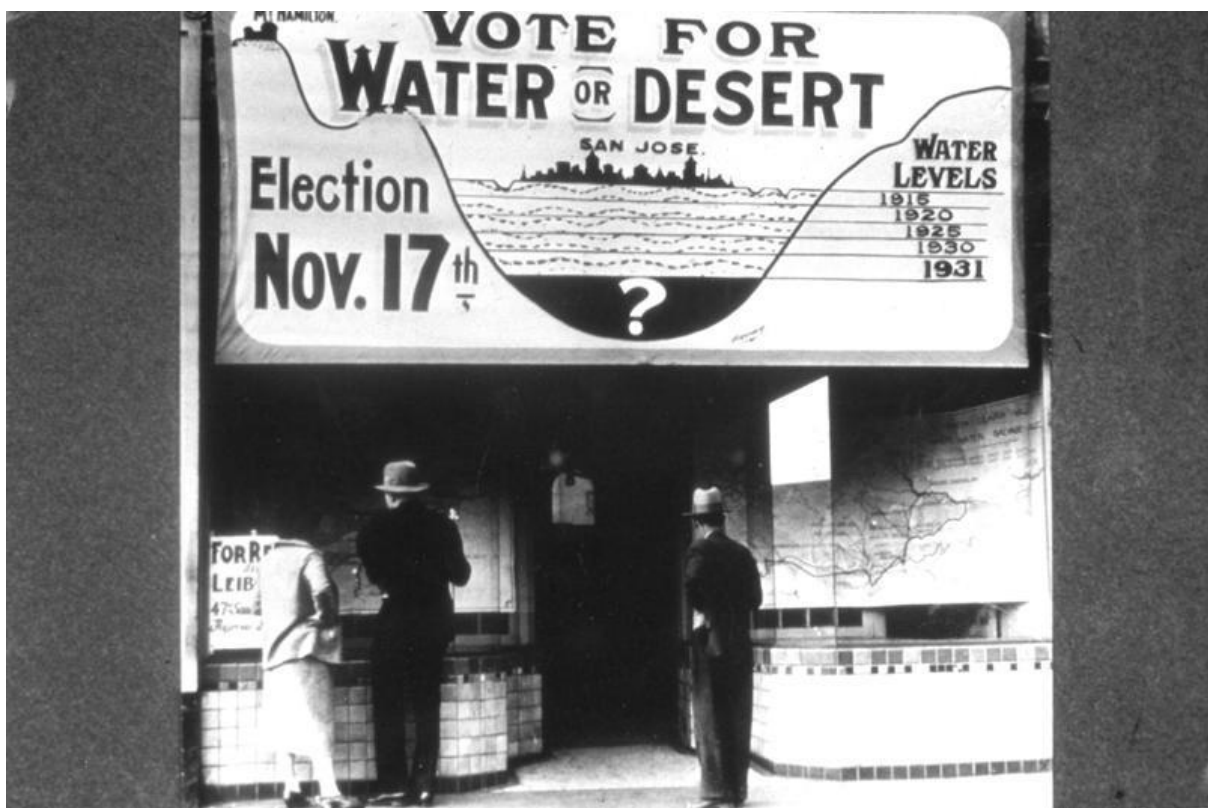


Χάρτης 2-8: Χάρτης που απεικονίζει τις θέσεις των έργων Hoover Dam, Parker Dam, Imperial Dam & All-American Canal 1930 (πηγή: University of California, Los Angeles Library, ανάκτηση 2018)

2.2.2.2 CENTRAL VALLEY PROJECT

Οι αγρότες της Central Valley είχαν επίσης ανάγκη ενός ρυθμιστικού έργου. Πρέπει να σημειώσουμε ότι το 1900 η καλλιεργήσιμη έκταση της περιοχής ήταν 4 047 km² εκτάρια και το 1930 έγιναν περισσότερα από 12 141 km² (Hanak et al., 2011). Οι μεγάλες απαιτήσεις σε άρδευση οδήγησε τους αγρότες στην συστηματική εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων με

αποτέλεσμα την σταδιακή ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Τα φαινόμενα αυτά ήταν εντονότερα στις περιοχές νότια του δέλτα των ποταμών Sacramento – San Joaquin, όπου η πρόσβαση σε επιφανειακά νερά είναι περιορισμένη. Το θέμα της σταδιακής ταπείνωσης του υδροφορέα ήταν μείζον και μάλιστα πρόσφορο έδαφος για πολιτικές αντιπαραθέσεις. Το 1919 έγινε η πρώτη ολοκληρωμένη πρόταση το Marshall Plan από τον Robert Marshall, και το 1930 το σχέδιο αυτό εξελίχθηκε από τον Edward Hyatt Jr, το οποίο μάλιστα συμπεριελήφθη και στο πρώτο State Water Plan (ολοκληρωμένο σχέδιο διαχείρισης υδατικών πόρων για την πολιτεία της Καλιφόρνια) και ονομάστηκε Central Valley Project (CVP).



Εικόνα 2-4: Φωτογραφία από τις εκλογές της τοπικής αυτοδιοίκησης στην πόλη San Jose (πηγή: watereducation.org, ανάκτηση 2018)

Το σχέδιο του Edward Hyatt Jr προέβλεπε την κατασκευή ενός φράγματος στην περιοχή Shasta για την ρύθμιση των παροχών του Sacramento River που εξυπηρετούν τις περιοχές του βόρειου τμήματος της Central Valley. Αντίστοιχα για τις νοτιοανατολικές περιοχές ένα φράγμα στην περιοχή Friant μαζί με έργα εκτροπής. Παράλληλα οι περιοχές νότια του δέλτα των ποταμών Sacramento – San Joaquin θα εξυπηρετούνταν από νερό που θα αντλείτο από το δέλτα και θα ήταν διαθέσιμο μέσω κατάλληλου υδραγωγείου. Το σχέδιο ψηφίστηκε από το κογκρέσο το 1935 και αναθεωρήθηκε το 1937 συμπεριλαμβάνοντας και άλλα έργα τα

οποία συνθέτουν και την τελική μορφή του CVP το οποίο παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο.

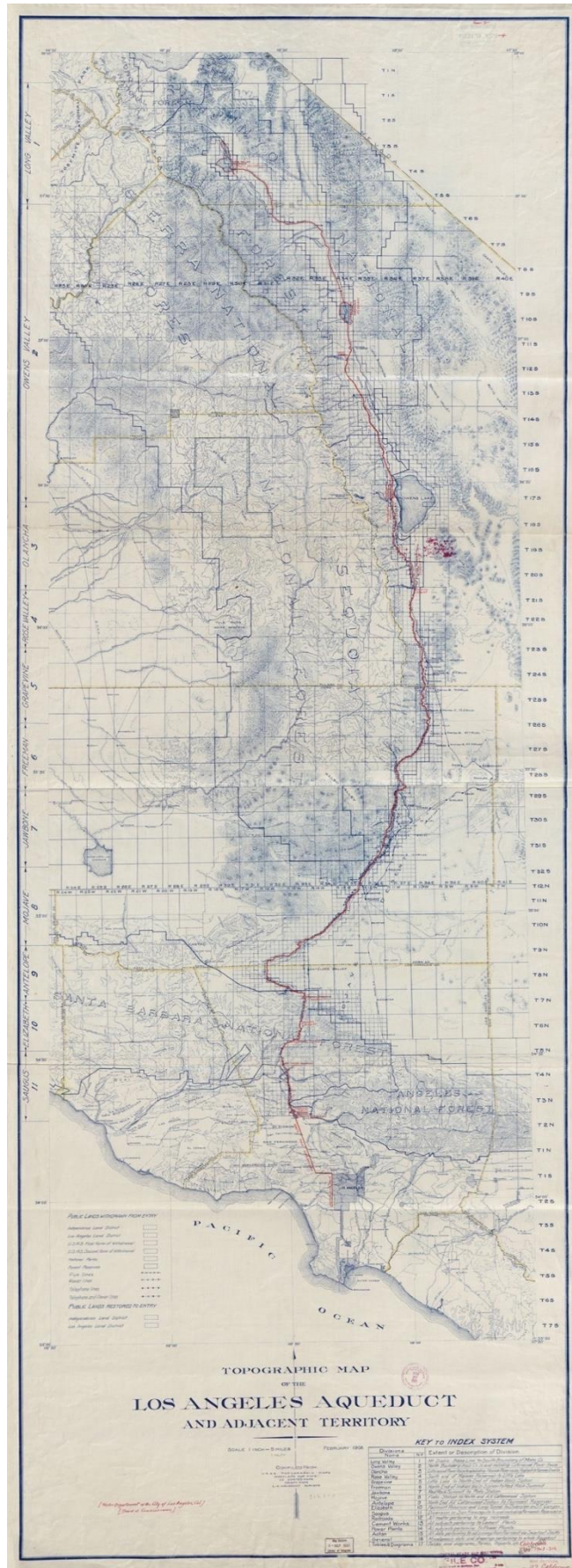


Χάρτης 2-9: Χάρτης με τις περιοχές που εξυπηρετούνται από το CVP (πηγή: ca.water.usgs.gov, ανάκτηση 2018)

2.2.3 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΥΔΡΕΥΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΣ

2.2.3.1 ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ ΤΟΥ LOS ANGELES (LOS ANGELES AQUEDUCT)

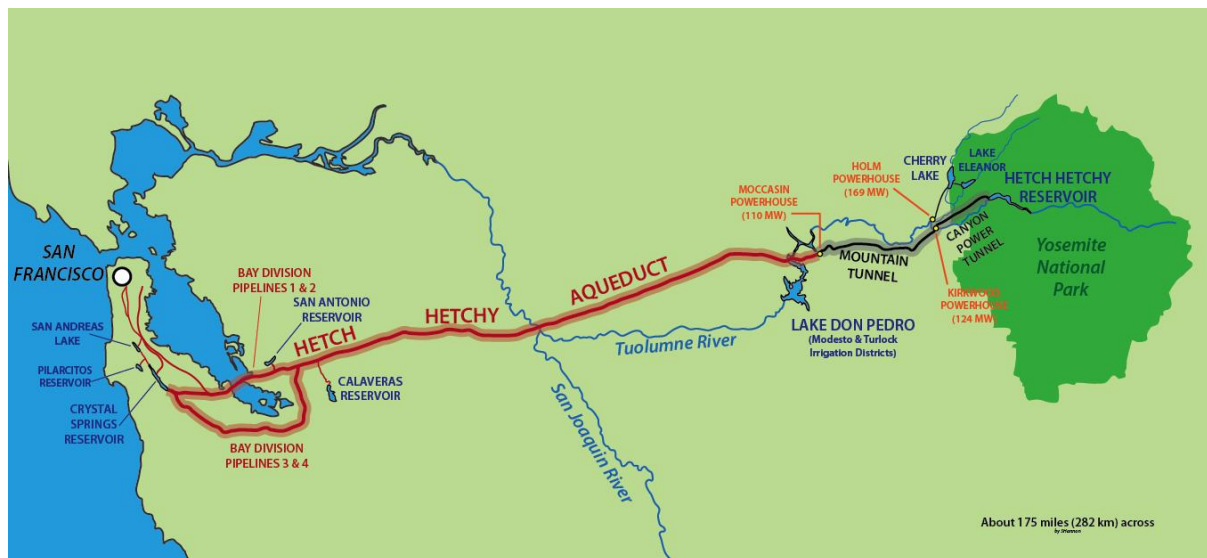
Το πρώτο πρωτοποριακό έργο έγινε για την πόλη του Los Angeles. Μέχρι το 1900 οι υδατικοί πόροι (επιφανειακοί και υπόγειοι) που εξυπηρετούσαν την πόλη έδειχναν να έχουν περιοριστεί αρκετά. Για να μπορέσουν να εξασφαλίσουν το απαιτούμενο νερό στράφηκαν στην Sierra Nevada και συγκεκριμένα βόρεια της Owens Valley στην ανατολική πλευρά της οροσειράς.



Χάρτης 2-10: Τοπογραφικό διάγραμμα του 1908 με την διάταξη του Los Angeles Aqueduct (πηγή : Library of Congress, ανάκτηση 2018)

Ο δήμαρχος του Los Angeles Fred Eaton διόρισε ως επικεφαλής για την μελέτη και κατασκευή του έργου. Πράγματι η κατασκευή του υδραγωγείου και των έργων εκτροπής ξεκίνησε το 1908 και τελείωσε το 1913. Το έργο αυτό βέβαια έδωσε μεγάλη δυναμική ανάπτυξης (όπως και έγινε) με τον πληθυσμό να αυξάνει κατά 500 000 μέχρι το 1920. Ως επακόλουθο οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις της πόλης για νερό οδήγησε στην εκτροπή σχεδόν όλου του νερού από την Owens Valley που οδήγησε στην πλήρη υποβάθμιση των κατοίκων και αγροτών της αλλά και την αποξήρανση της Owens Lake. Το 1924 η αγανάκτηση για το καθεστώς νερού που τους είχε επιβληθεί, εξεγέρθηκαν ανατινάζοντας τμήματα του υδραγωγείου. Τότε η πόλη του Los Angeles αποφάσισε να εξαγοράσει τις εκτάσεις όλων των εμπλεκομένων. Από το 1924 έως το 1934 εξαγοράστηκαν 1 167 φάρμες έκτασης 267 102 εκταρίων (1 080 km²) με συνολικό κόστος \$20.768.233 (\$219 727 905 το 2003) (Liberca, 2008). Το 1934 με τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις νερού και την ραγδαία ανάπτυξη της πόλης, αποφασίστηκε επέκταση του υδραγωγείου μέχρι την υδρολογική λεκάνη Mono με τα έργα να τελειώνουν το 1940. Οι ποσότητες που εκτρέπονταν ήταν (και είναι) μεγάλες με αποτέλεσμα την σταδιακή ταπείνωση της στάθμης της λίμνης Mono.

2.2.3.2 HETCH HETCHY PROJECT



Χάρτης 2-11: Χάρτης με την διάταξη του Hetch Hetchy Project (πηγή: mavensnotebook.com, ανάκτηση 2018)

Παράλληλα η πόλη του San Francisco και συγκεκριμένα ο δήμαρχος της James Phelan (1897-1902) διέγνωσε ότι οι τοπικοί υδατικοί πόροι δεν θα είναι αρκετοί με τους ρυθμούς ανάπτυξης της πόλης και των περιχώρων. Ο μηχανικός που του ανατέθηκε η εύρεση λύσης

Michael O'Shaughnessy πρότεινε την κατασκευή ενός φράγματος στην τοποθεσία Hetch Hetchy Valley το οποίο άνηκε στο Yosemite National Park. Το Κογκρέσο ενέκρινε το σχέδιο με το Raker Act το 1913, όπου ξεκινήσαν και οι εργασίες και ολοκληρώθηκε το 1934.



Εικόνα 2-5: Φωτογραφία από το εργοτάξιο του Hetch Hetchy Dam 1914 (πηγή: library.usgs.gov, ανάκτηση 2018)



Εικόνα 2-6: Φωτογραφία του Hetch Hetchy Dam 1923 (πηγή: [Wikipedia](https://en.wikipedia.org), ανάκτηση 2018)

2.2.3.1 STATE WATER PROJECT

Η είσοδος των ΗΠΑ στον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο το 1941 και οι ανάγκες που δημιουργήθηκαν για πολεμικό εξοπλισμό, πλοία, αεροπλάνα, άρματα μάχης κ.λπ., ήταν η έναρξη για να στραφεί η πολιτεία στην βαριά βιομηχανία. Μέχρι τότε η κύρια δραστηριότητα της ήταν παραγωγή αγροτικών προϊόντων.

Η κυβέρνηση των ΗΠΑ μετά τα συμβάντα του Pearl Harbor 7-12-1941, επένδυσε \$35 000 000 000 σε έργα υποδομής, στρατιωτικές βάσεις και παραγωγή πολεμικών προμηθειών και όπλων. Μέχρι το 1945 η Καλιφόρνια θα γίνει 2^η στην βιομηχανική παραγωγή μετά το Ντιτρόιτ ξεπερνώντας άλλες πόλεις όπως το Σικάγο, την Νέα Υόρκη και την Φιλαδέλφεια. (Hope ,2007).

Η ανάπτυξη αυτή χαρακτηρίστηκε ως δεύτερος πυρετός του χρυσού. Ειδικότερα μετά το 1945 η αύξηση του πληθυσμού στις μεγάλες πόλεις ήταν ραγδαία, με αποτέλεσμα οι ανάγκες για νερό αντίστοιχα να αυξηθούν. Από το 1945 η πολιτεία της Καλιφόρνια ξεκίνησε την αποτίμηση όλων των υδατικών πόρων και αναγκών της. Η επιτροπή που ανέλαβε την διερεύνηση κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το 40% των προσφερόμενων προς εκμετάλλευση υδάτων των ποταμών δεν χρησιμοποιείται. (Hanak et al., 2011). Παράλληλα κατέληξαν ότι η μεγαλύτερη πρόκληση θα ήταν η μεταφορά νερού από το βόρειο κομμάτι της πολιτείας, που είχαν πληθώρα υδατικών πόρων στο νότιο όπου τους στερούνταν. Η πρώτη πρόταση ήρθε από τον μηχανικό A.D.Edmonston την κατασκευή ενός φράγματος στον ποταμό Feather (σημερινό Oroville Dam), ένα κόμβο διανομής στο δέλτα των ποταμών Sacramento και San Joaquin και ένα υδραγωγείο που θα κατέληγε στις πόλεις του Νότου. Η πρόταση εγκρίνεται το 1951, αναθεωρείται το 1955 και 1957 προκυμμένου να προστεθούν σε αυτό και άλλα έργα. Το έργο ξεκίνησε το 1961 με το Oroville dam να ολοκληρώνεται το 1967. Τα άλλα τμήματα ολοκληρώνονται σταδιακά μέχρι και το 1997 (παράδοση του Coastal Branch). Το SWP παρουσιάζεται αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΣ

Τα κύρια τμήματα του αρδευτικού – υδρευτικού συστήματος είναι τα ακόλουθα πέντε : 1) Το CVP, 2) το SWP, 3) το Hetch Hetchy Project, 4) Το υδραγωγείο του Los Angeles, 5) Το σύνολο των έργων εκμετάλλευσης του ποταμού Colorado

2.3.1 CENTRAL VALLEY PROJECT (CVP)

Το CVP είναι ένα πολύπλοκο σύστημα αποτελούμενο από φράγματα-ταμιευτήρες, κανάλια, κλειστούς αγωγούς, υδροηλεκτρικούς σταθμούς κ.λπ, και εξυπηρετεί την περιοχή της Central Valley για άρδευση, ύδρευση και βιομηχανική χρήση. Πιο συγκεκριμένα :

- Αποτελείται από 20 ταμιευτήρες, 11 υδροηλεκτρικούς σταθμούς και δίκτυο μήκους 804 km
- Διαχειρίζεται 11 000 hm³ νερού
- Παρέχει 6 000 hm³ νερού για άρδευση
- Παρέχει 733 hm³ νερού για ύδρευση και βιομηχανικές ανάγκες.
- Με εγκατεστημένη ισχύ 2 100 MW το σύστημα παράγει 4 500 000 MWh το χρόνο εκ των οποίων το 1/3 χρησιμοποιείται από το σύστημα για τις ανάγκες άντλησης.

Οι κύριοι ταμιευτήρες του συστήματος είναι οι ακόλουθοι :

Στο βόρειο τμήμα :

- Shasta
- Trinity
- Folsom

Στο νότιο τμήμα :

- New Melones
- San Luis
- Friant



Χάρτης 2-12: Χάρτης του CVP (πηγή : U.S Bureau of Reclamation, ανάκτηση 2018)

Κύριοι ταμιευτήρες του CVP	
Ταμιευτήρας	Ωφέλιμος όγκος (hm³)
Shasta	4 849,14
Trinity	2 611,11
Folsom	1 093,36
New Melones	2 955,99
Friant	530,53
San Luis	2 398,69

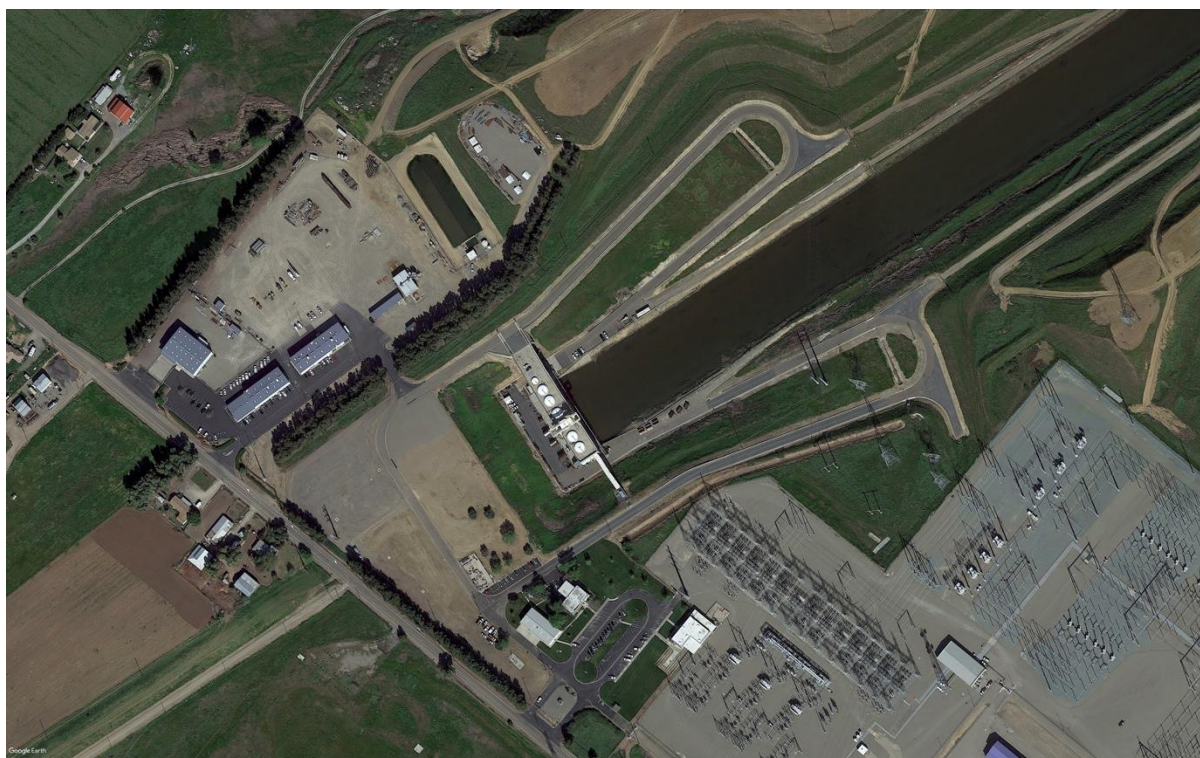
Πίνακας 2-5: Πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κύριων ταμιευτήρων του CVP (πηγή : U.S Bureau of Reclamation, ανάκτηση 2018)

Το νερό από τους ταμιευτήρες που βρίσκεται στο βόρειο κομμάτι οδηγείται μέσω του ποταμού Sacramento στην περιοχή του δέλτα των ποταμών Sacramento και San Joaquin. Κατόπιν αντλείται και οδηγείται στο υδραγωγείο Delta Mendota και από εκεί τμήμα της παροχής αποθηκεύεται στον ταμιευτήρα του San Luis και το υπόλοιπο προς διανομή και κατανάλωση στο κεντρικό κομμάτι της Central Valley. Ο ταμιευτήρας του San Luis μέσω των υδραγωγείων San Luis και Coalinga παρέχει νερό στο νότιο κομμάτι της Central Valley αλλά και την ευρύτερη περιοχή του Los Angeles. Οι ταμιευτήρες των New Melones και Friant εξυπηρετούν το κεντρικό και νότιο τμήμα της Central Valley αντίστοιχα.

Κύρια υδραγωγεία του CVP		
Υδραγωγείο	Μήκος (km)	Παροχή (m³/s)
Coming	33,79	14,16
Tehama-Colusa	178,44	71,64
Contra Costa	76,74	9,91
Folsom South	42,96	99,12
Delta-Mendota	188,25	130,27
Friant-Kem	244,24	141,6
Madera	57,76	35,4
Coalinga	18,66	31,15
San Luis	164,92	370,99

Πίνακας 2-6: Πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κύριων υδραγωγείων του CVP (πηγή : U.S Bureau of Reclamation, ανάκτηση 2018)

Το C.W. Bill Jones Pumping Plant είναι το κεντρικό αντλιοστάσιο του συστήματος και βρίσκεται κοντά στην περιοχή Tracy νότια της περιοχής του δέλτα. Μέγιστη παροχή άντλησης είναι 5 200 m³/s (10 500 000 m³ ανά ημέρα) και δημιουργεί μανομετρικό 60 m.



Εικόνα 2-7: Άποψη των εγκαταστάσεων του C.W. Bill Jones Pumping Plant από τον δορυφόρο (πηγή :Google Earth)

Όπως αναφέραμε προηγουμένως το CVP έχει υδροηλεκτρικά έργα συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 2 100 MW που παράγουν 4 500 000 MWh το χρόνο. Τα στοιχεία των σταθμών παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα που ακολουθεί

Υδροηλεκτρικά έργα του CVP	
Θέση	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Shasta Dam	710
Trinity Dam	140
Judge Francis Dam	154
Spring Creek	180
Keswick Dam	105
Lewiston Dam	0,350
Folsom Dam	207
Nimbus Dam	17
New Melones Dam	383
O'Neil	14,4
San Luis	202

Πίνακας 2-7: Πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υδροηλεκτρικών σταθμών του CVP (πηγή : U.S Bureau of Reclamation, ανάκτηση 2018)

2.3.2 STATE WATER PROJECT (SWP)



Χάρτης 2-13: Χάρτης με τις κύριες εγκαταστάσεις του SWP (πηγή : California Department of water resources, ανάκτηση 2018)

Το SWP είναι κυριότερο έργο ύδρευσης της πολιτείας της Καλιφόρνια. Οι εγκαταστάσεις αποτελούνται από φράγματα-ταμιευτήρες, κανάλια, κλειστούς αγωγούς, υδροηλεκτρικούς σταθμούς κ.λπ, και εξυπηρετεί τις περισσότερες πόλεις της Καλιφόρνια για ύδρευση, αλλά και βιομηχανική χρήση και άρδευση. Πιο συγκεκριμένα :

- Αποτελείται από 34 ταμιευτήρες, 30 φράγματα, 23 αντλιοστάσια, 9 υδροηλεκτρικούς σταθμούς.
- Το δίκτυο έχει συνολικό μήκος περίπου 1 126 km και το κύριο υδραγωγείο έχει μήκος 714 km.
- Με εγκατεστημένη ισχύ 2 991,7 MW το σύστημα παράγει περίπου 3 900 000 MWh ανά έτος.
- Έχει σχεδιαστεί για να διαχειρίζεται 5 136 hm³ νερού με μέση διακίνηση 3 000 hm³.
- Το 70% της συνολικής παροχής αντιστοιχεί σε ύδρευση αλλά και βιομηχανική χρήση στην περιοχή της Silicon Valley, ενώ το υπόλοιπο 30% για άρδευση κυρίως στην περιοχή της San Joaquin Valley.

Το δίκτυο ξεκινά ουσιαστικά από την λίμνη Oroville που είναι και η κύρια πηγή του συστήματος. Από εκεί μέσω του ποταμού Feather αρχικά και Sacramento στην συνέχεια οδηγείται στο δέλτα των ποταμών Sacramento και San Joaquin. Στο Baker Sloth γίνεται η πρώτη εκτροπή από όπου γίνεται διάθεσή στο υδραγωγείο του North Bay. Το υπόλοιπο της παροχής φτάνει στο κεντρικό αντλιοστάσιο Harvey O. Banks και από εκεί στο κεντρικό υδραγωγείο της Καλιφόρνιας (California Aqueduct) το οποίο φτάνει μέχρι τα βουνά Tehachapi.

Στην διαδρομή αυτή, διασταυρώνεται με το υδραγωγείο του South Bay, με τον ταμιευτήρα του San Luis, που είναι και έργο του CVP που περιγράψαμε προηγουμένως, στην συνέχεια με το υδραγωγείο του Coastal Branch και τέλος στο αντλιοστάσιο Edmonston (Edmonston Pumping Plant) που βρίσκεται στις παρυφές των Tehachapi. Από εκεί διανέμεται στα υδραγωγεία East Branch και West Branch τα οποία εξυπηρετούν την πόλη του Los Angeles αλλά και την ευρύτερη περιοχή του Long Beach.

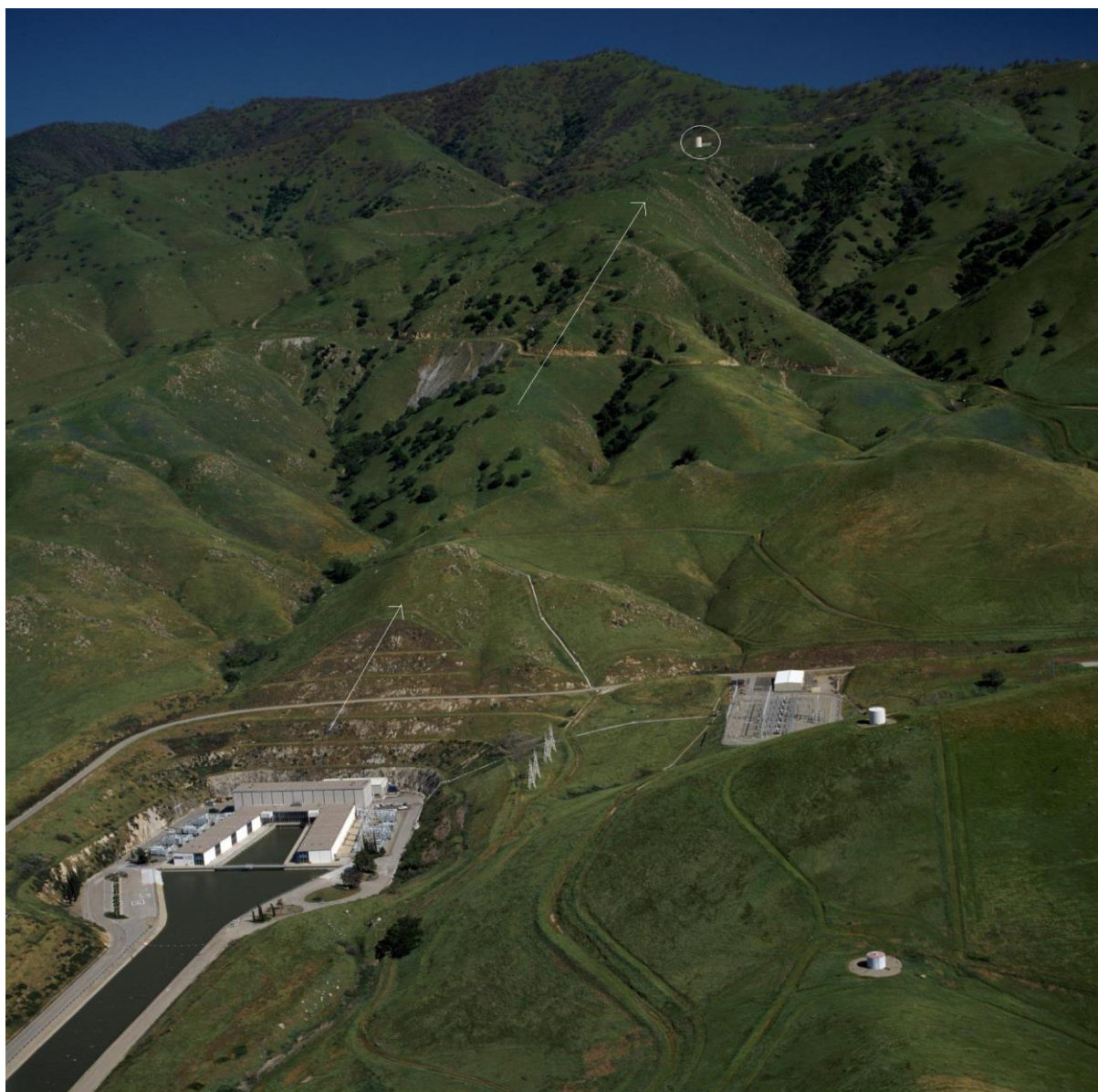


Εικόνα 2–8: Διάγραμμα με την διαδρομή του SWP (πηγή : California Department of water resources, ανάκτηση 2018)



Εικόνα 2–9: Άποψη των εγκαταστάσεων του έργου Harvey O. Banks από τον δορυφόρο (πηγή :Google Earth)

Το αντλιοστάσιο Edmonston είναι από τα κυριότερα στοιχεία του SWP μιας και είναι αυτό που συνδέει τις νότιες πόλεις με τις πηγές του βορρά (που είναι και ο κύριος στόχος του SWP όπως αναφέραμε στην ιστορική αναδρομή). Αξίζει να το αναφέρουμε μιας και είναι από τα δυνατώτερα αντλιοστάσια που έχουν κατασκευαστεί. Αποτελείται από 14 αντλίες των 80.000 hp (60 MW) δημιουργεί ένα μανομετρικό 600 m και μεταφέρει το νερό σε μια απόσταση 13,7 km.



*Εικόνα 2–10: : Φωτογραφία του έργου Edmonston Pumping Plant και απεικόνιση της διαδρομής του νερού
(πηγή: mavensphotoblog.com, ανάκτηση 2018)*

2.3.3 HETCH HETCHY PROJECT

Το Hetch Hetchy Project είναι το κύριο έργο ύδρευσης της πόλης του San Francisco αλλά και της ευρύτερης περιοχής του κόλπου του San Francisco. Το έργο αυτό αποτελείται από 11 ταμιευτήρες, πέντε αντλιοστάσια μια σειρά υδροηλεκτρικών έργων και δύο εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού.

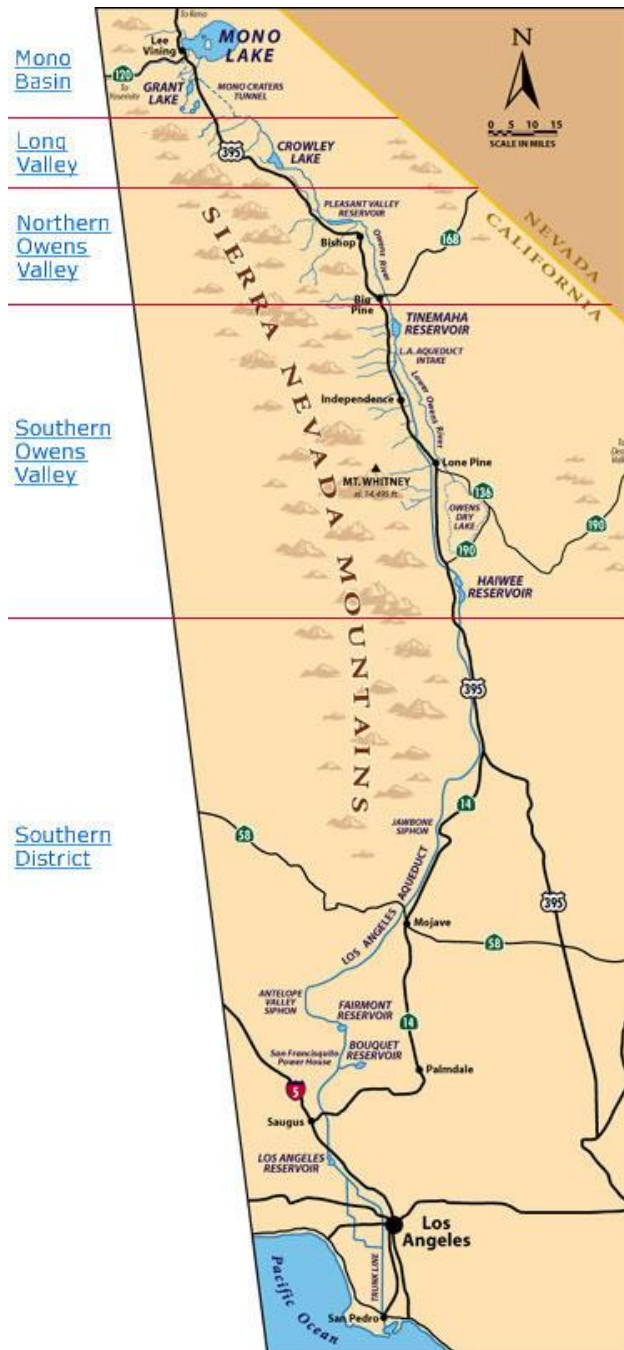


Χάρτης 2-14: Χάρτης με τις κύριες εγκαταστάσεις του Hetch Hetchy Project (πηγή : California Department of water resources, ανάκτηση 2018)

Ξεκινώντας από το O'Shaughnessy Dam και τον ταμιευτήρα του Hetch Hetchy, την λίμνη Cherry αλλά και την λίμνη Eleanor, το νερό διέρχεται από μια σειρά υδροηλεκτρικών έργων συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 385 MW. Κατόπιν μέσω του υδραγωγείου του Hetch Hetchy συνολικού μήκους 269 km, φτάνει στον κόλπο του San Francisco κοντά στην πόλη Fremont όπου το υδραγωγείο χωρίζεται σε τέσσερις κλειστούς αγωγούς. Οι αγωγοί 1, 2 περνούν από την γέφυρα Dumbarton ενώ οι 3, 4 κινούνται περιμετρικά του κόλπου και καταλήγουν στο Pulgas Water Temple. Το νερό του Hetch Hetchy Project αποθηκεύεται στους ταμιευτήρες του Calaveras, Crystal Springs και San Antonio και από εκεί στις δύο εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού των Harry W.Tracy και Sunol Valley από όπου το νερό διατίθεται προς κατανάλωση.

2.3.4 LOS ANGELES AQUEDUCT (ΥΔΡΑΓΩΓΕΙΟ ΤΟΥ LOS ANGELES)

Το υδραγωγείο του Los Angeles είναι η κυριότερη πηγή ύδρευσης από τα τρία έργα (υδραγωγείο του Los Angeles, SWP, Colorado Aqueduct) που τροφοδοτούν την πόλη.



Χάρτης 2-15: Χάρτης με τις κύριες εγκαταστάσεις του Los Angeles Aqueduct (πηγή : Los Angeles Department of Water & Power, ανάκτηση 2018)

Το συγκεκριμένο έργο λειτουργεί εξ 'ολοκλήρου με βαρύτητα αποτελείται από έξι ταμειυτήρες και δύο κύρια υδραγωγεία:

2.3.4.1 FIRST LOS ANGELES AQUEDUCT

Η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 1913 και έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

- Συνολικό μήκος 374,88 km
- Μέγιστη παροχή λειτουργίας 13,73 m³/s
- Συνολικό μήκος ανοιχτών αγωγών με μη επενδεδυμένη κοίτη 38,62 km
- Συνολικό μήκος ανοιχτών αγωγών με επενδεδυμένη κοίτη 59,53 km
- Συνολικό μήκος αγωγών από σκυρόδεμα 156,07 km
- Συνολικό μήκος επενδεδυμένων υπόγειων στοών (τουνελ) 69,19 km
- Συνολικό μήκος σωληνώσεων από χάλυβα και σκυρόδεμα 19,03 km
- Συνολικό μήκος αγωγών (για υδροηλεκτρική ενέργεια) 16,09 km

2.3.4.2 SECOND LOS ANGELES AQUEDUCT

Η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 1970 και έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

- Συνολικό μήκος 220,43 km
- Μέγιστη παροχή λειτουργίας 8,21 m³/s
- Συνολικό μήκος σωληνώσεων από χάλυβα 111,02 km
- Συνολικό μήκος αγωγών από σκυρόδεμα 102,98 km

2.3.5 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ COLORADO

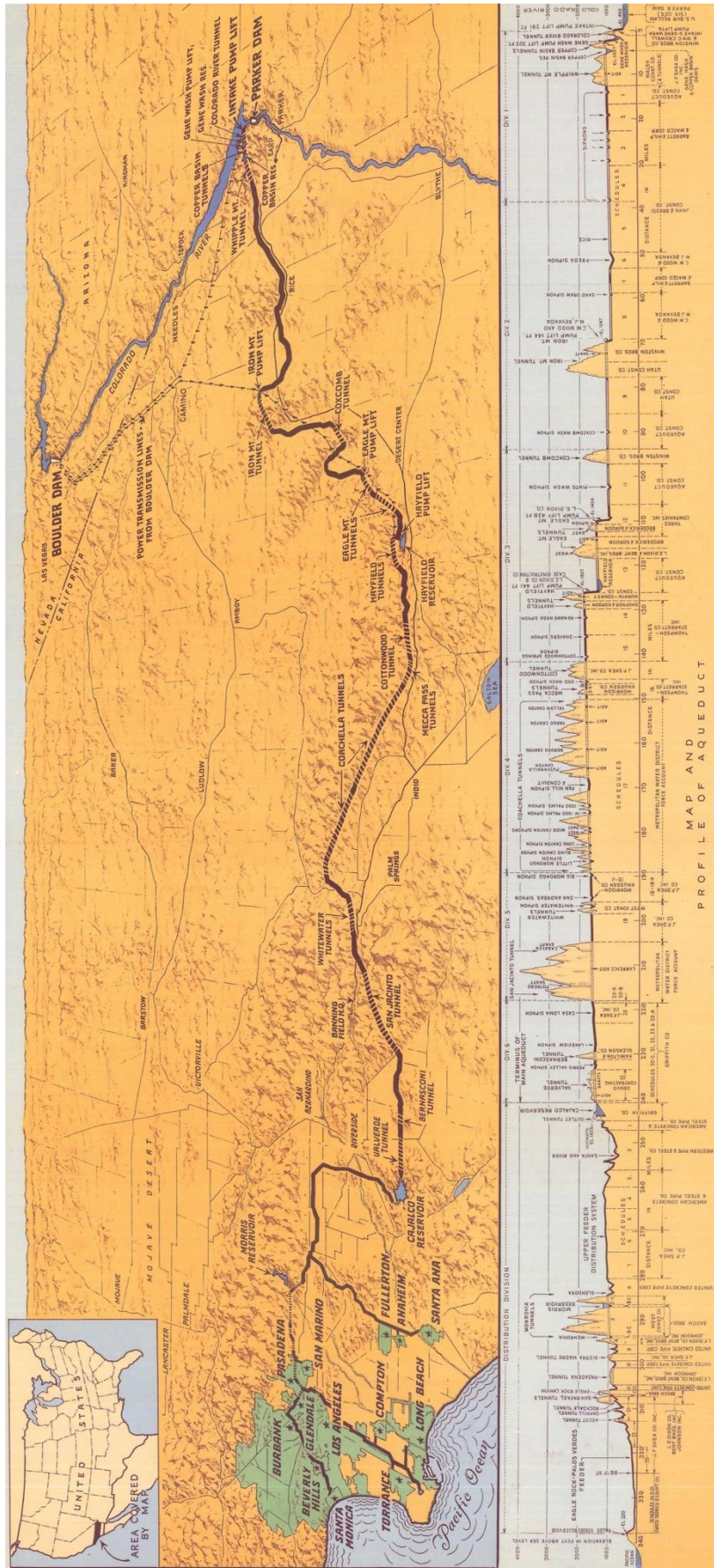
Η εκμετάλλευση του ποταμού Colorado γίνεται κυρίως από δύο υδραγωγεία : το Colorado River Aqueduct και το All-American Canal System.



Χάρτης 2-16: Χάρτης με τις κύριες εγκαταστάσεις του Los Angeles Aqueduct (πηγή : U.S Bureau of Reclamation, ανάκτηση 2018)

2.3.5.1 COLORADO RIVER AQUEDUCT (CRA)

Το υδραγωγείο αυτό ξεκινά από το Parker Dam που βρίσκεται στην λίμνη Havasu και από εκεί αντλείται για να περάσει πάνω από τα βουνά Whipple και έπειτα διασχίζει το νότιο κομμάτι της ερήμου Mojave. Κατόπιν αντλείται εκ νέου για να περάσει πάνω από τα όρη Eagle και τα όρη Iron.



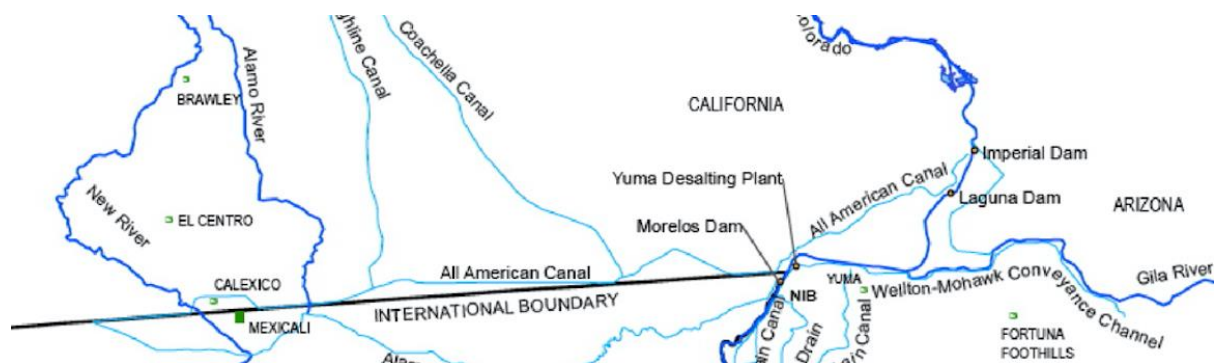
Χάρτης 2-17: Χάρτης και μηκοτομή του Colorado River Aqueduct (πηγή: mavensnotebook.com, ανάκτηση 2018)

Διασχίζει την έρημο της Coachella Valley και αφού περάσει τα όρη San Jacinto με τούνελ φτάνει στην λίμνη Mathews από όπου γίνεται και διανομή στην πόλη του Los Angeles και στην ευρύτερη περιοχή του Long Beach.

Το CRA έχει μήκος δικτύου 389 km, ικανότητα διαχείρισης 1467,6 hm³ και αποτελείται από:

- Δύο ταμιευτήρες
- Πέντε αντλιοστάσια
- Συνολικό μήκος ανοιχτών αγωγών 101,37 km
- Συνολικό μήκος τούνελ 148 km
- Συνολικό μήκος αγωγών από τσιμέντο 88,50 km
- Συνολικό μήκος σιφώνων υπό πίεση; 45 km

2.3.5.2 ALL-AMERICAN CANAL SYSTEM



Χάρτης 2-18: Χάρτης του All-American Canal System (πηγή: International Boundary and Water Commission, 2007)

Το All-American Canal System είναι το σύνολο των έργων που εκτρέπουν το νερό του ποταμού Colorado προκυμμένου να εξυπηρετήσουν τις περιοχές της Coachella Valley αλλά και της Imperial Valley. Το σύστημα αυτό έχει τρεις βασικούς κλάδους :

1. Imperial Dam
2. All-American Canal
3. Coachella Canal

Το Imperial Dam είναι έργο εκτροπής του νερού που επιμερίζει το νερό του ποταμού Colorado στα All American Canal, στο Gila Canal και στο υδραγωγείο του Yuma Project.

Το All-American Canal είναι το έργο που εξυπηρετεί αποκλειστικά την περιοχή της Imperial Valley. Έχει συνολικό μήκος 128 km και λειτουργεί εξ 'ολοκλήρου με βαρύτητα με μέγιστη παροχή λειτουργίας τα 740,6 m³/s. Η διαδρομή του νερού ξεκινάει από το Imperial Dam που βρίσκεται βορειοανατολικά της πόλης Yuma κατευθύνεται νοτιοδυτικά μέχρι να φτάσει στα σύνορα ΗΠΑ-Μεξικό από όπου κινείται δυτικά παράλληλα των συνόρων μέχρι να φτάσει την Imperial Valley.

Το Coachella Canal είναι έργο που μαζί με το Colorado Aqueduct εξυπηρετεί την Coachella Valley και λειτουργεί εξ 'ολοκλήρου με βαρύτητα. Ξεκινώντας από το Imperial Dam αφού το νερό έχει διανύσει περίπου 58 km μέσα στο All American Canal εκτρέπεται στο Coachella Canal. Το μήκος του είναι 196 km και η μέγιστη παροχή λειτουργίας είναι 36,82 m³/s.

2.4 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΣ – ΚΥΡΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Η πρόοδος και η οικονομική άνθιση της πολιτείας της Καλιφόρνιας, όπως φάνηκε από τα προηγούμενα κεφάλαια, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την εκμετάλλευση του νερού. Από το 1848 με τον πυρετό του χρυσού, η στροφή της πολιτείας στην αγροτική δραστηριότητα και μετέπειτα η πολεμική – μεταπολεμική βιομηχανική έκρηξη που γιγάντωσε τις σύγχρονες πόλεις δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τα έργα της εκμετάλλευσης των επιφανειακών υδάτων. Τα δύο βασικά προβλήματα του συστήματος, που σε επέκταση επηρεάζουν και την διαχείριση της ξηρασίας είναι η ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση των υπογείων υδροφορέων αλλά και τα προβλήματα υφαλμύρισης στην περιοχή του δέλτα των ποταμών Sacramento και San Joaquin.

2.4.1 ΥΠΟΓΕΙΑ ΎΔΑΤΑ ΣΤΗΝ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ

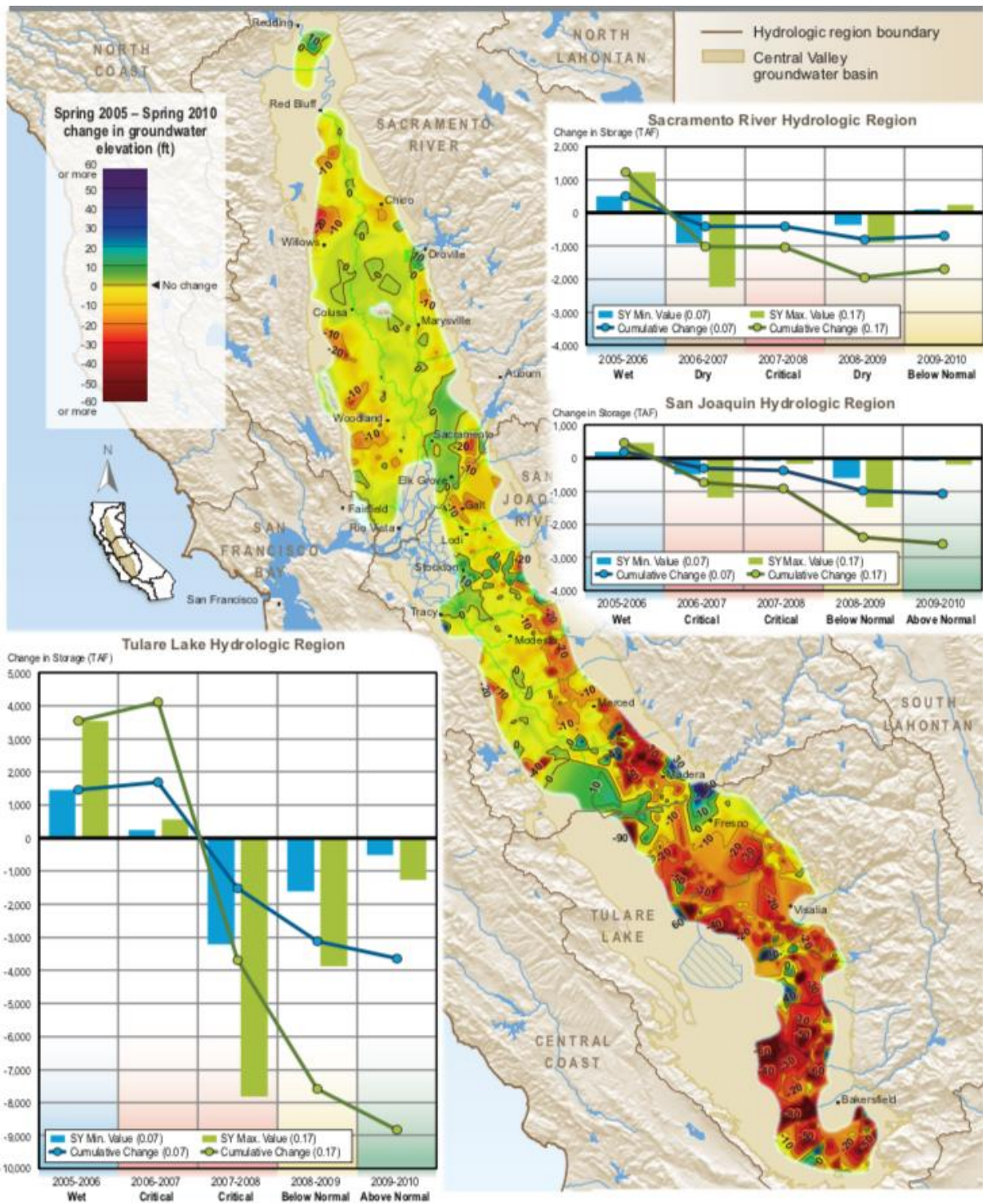
Προκύπτει από την εξέταση του συστήματος ότι έχει καταβληθεί μεγάλη προσπάθεια για την εκμετάλλευση των επιφανειακών υδάτων αλλά και την ορθή χρήση αυτών, δεν έχει συμβεί το ίδιο και για τους υπόγειους υδροφορείς, παρόλο που η εκμετάλλευση αυτών ξεκίνησε στις αρχές του 20ού αιώνα και γίνεται εκτεταμένη χρήση. Το 40% περίπου των συνολικών αναγκών της πολιτείας καλύπτεται από υπόγεια ύδατα, ποσοστό που ανεβαίνει στο 60% της περιόδου ξηρασίας (California State Water Plan Update, 2013).

Hydrologic Region	Agriculture Use of Groundwater	Urban Use of Groundwater	Managed Wetlands Use of Groundwater	Groundwater Use by HR
	% ^a	% ^a	% ^a	% ^b
North Coast	83%	16%	1%	2%
San Francisco	29%	71%	0%	2%
Central Coast	81%	19%	0%	7%
South Coast	24%	76%	0%	10%
Sacramento River	84%	16%	1%	17%
San Joaquin	81%	13%	6%	19%
Tulare Lake	90%	10%	<1%	38%
North Lahontan	71%	22%	6%	1%
South Lahontan	61%	39%	0%	3%
Colorado River	13%	87%	0%	2%
2005-2010 Annual Average California Total	76%	22%	2%	100%

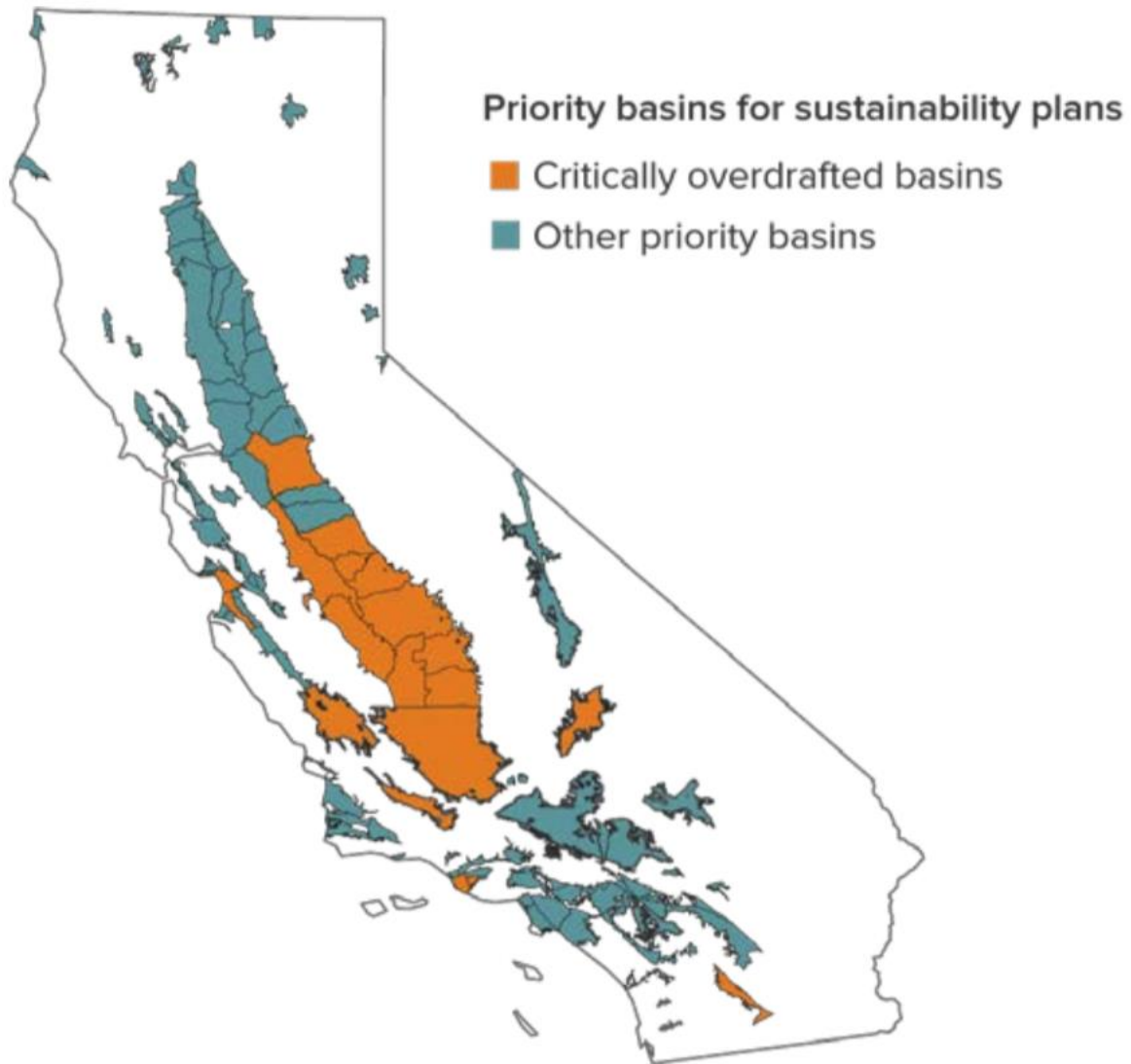
Πίνακας 2-8: Πίνακας με την ποσοστιαία χρήση υπόγειων υδάτων ανά κατηγορία χρήσης και υδρολογική λεκάνη (πηγή: California Groundwater update 2013, 2015)



Χάρτης 2-19: Χάρτης με τις υδρολογικές λεκάνες και τους υπόγειους υδροφορείς (πηγή: California Groundwater update 2013, 2015)



Χάρτης 2-20: Χάρτης με την μεταβολή της στάθμης και αποθηκευτικότητας των υπόγειων υδροφορέων στην περιοχή της Central Valley για τις χρονιές 2005-2010(πηγή: California Water Plan Update 2013)



Χάρτης 2-21: Χάρτης με τους υπόγειους υδροφορείς που γίνεται υπεράντληση (πορτοκαλί) (πηγή: California Groundwater Update 2013)

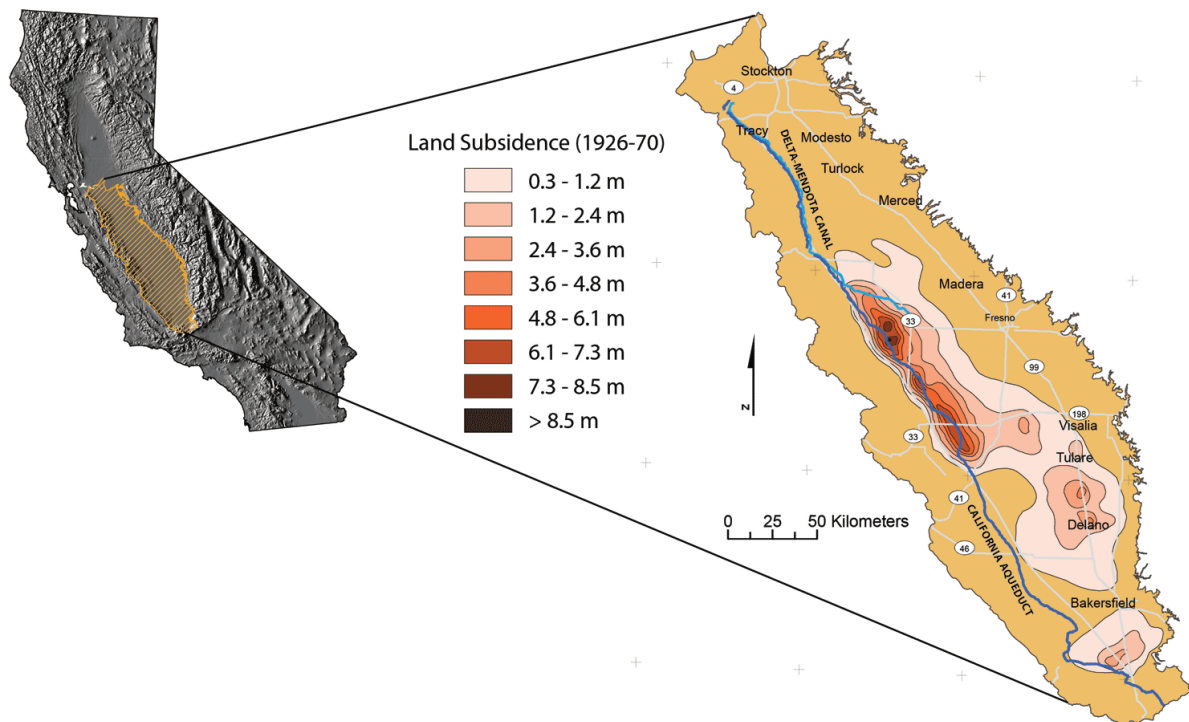
Το μη ρυθμισμένο τοπίο στους υπόγειους υδροφορείς έχει οδηγήσει σε υπεράντληση της πλειονότητας αυτών. Υπεράντληση σημαίνει ότι η ποσότητα του νερού που αντλείται είναι μεγαλύτερη από αυτή που αναπληρώνει τον υπόγειο υδροφορέα. Βέβαια η υπεράντληση δημιουργεί αρκετά προβλήματα.

- **Μόνιμες καθιζήσεις** που προκαλούνται από την υπεράντληση. Οι καθιζήσεις αυτές προκαλούν ζημιές στις υποδομές όπως δρόμους, κανάλια, γέφυρες, θεμελιώσεις και δίκτυα νερού. Σε όλη την πολιτεία η καθίζηση υπολογίζεται σε περισσότερα από 30 cm / έτος. Σε κάποιες περιοχές η καθίζηση είναι αρκετά μεγαλύτερη. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι στις περιοχές Tulare Lake και San Joaquin Valley η καθίζηση κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως 9 μέτρα (Faunt et al., 2009).



Εικόνα 2-11: Φωτογραφία της θέσης με την μεγαλύτερη καθίζηση στην San Joaquin Valley νοτιοδυτικά της Mendota. (πηγή: U.S Geological Survey, ανάκτηση 2018).

Οι καθιζήσεις έχουν και οικονομικό αντίκτυπο. Για παράδειγμα στην περιοχή της Santa Clara υπολογίζονται σε 756 000 000\$. Αντίστοιχα στην περιοχή της San Joaquin Valley οι ζημιές μόνο από την περίοδο 1955-1972 υπολογίζονται σε 1 300 000 000 \$.



Χάρτης 2-22: Χάρτης με τις καθιζήσεις στο νότιο κομμάτι στην περιοχή της Central Valley (πηγή: U.S Geological Survey, ανάκτηση 2018)

- Υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων.** Με την υπεράντληση οξύνονται τα προβλήματα ρύπανσης των υπόγειων υδροφορέων. Η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων και άλλων ρύπων που βρίσκονται στο έδαφος από την ανθρώπινη δραστηριότητα (αγροτική και βιομηχανική δραστηριότητα, ΧΥΤΑ, σηπτικά συστήματα, στρατιωτικές βάσεις κ.α) αυξάνει με την υπεράντληση. Η επιβάρυνση αυτή καθιστά πολλές φορές τον υπόγειο υδροφόρα ακατάλληλο για ύδρευση αλλά και για άρδευση. Σημαντικό το πρόβλημα δεδομένου ότι το 85% της ύδρευσης στην πολιτεία βασίζεται σε κάποιο ποσοστό από τα υπόγεια νερά (SWB, 2012). Ακόμη σε ορισμένες περιοχές και συγκεκριμένα στην Central Coast το 90% της ύδρευσης γίνεται από τα υπόγεια νερά.

Η υπεράντληση οδηγεί και στο πρόβλημα των υφαλμύρισης των υπόγειων υδάτων.

- Ζημιές στα οικοσυστήματα.** Η υπεράντληση επηρεάζει την κίνηση των επιφανειακών υδάτων με άμεση συνέπεια την επιρροή των οικοσυστημάτων.

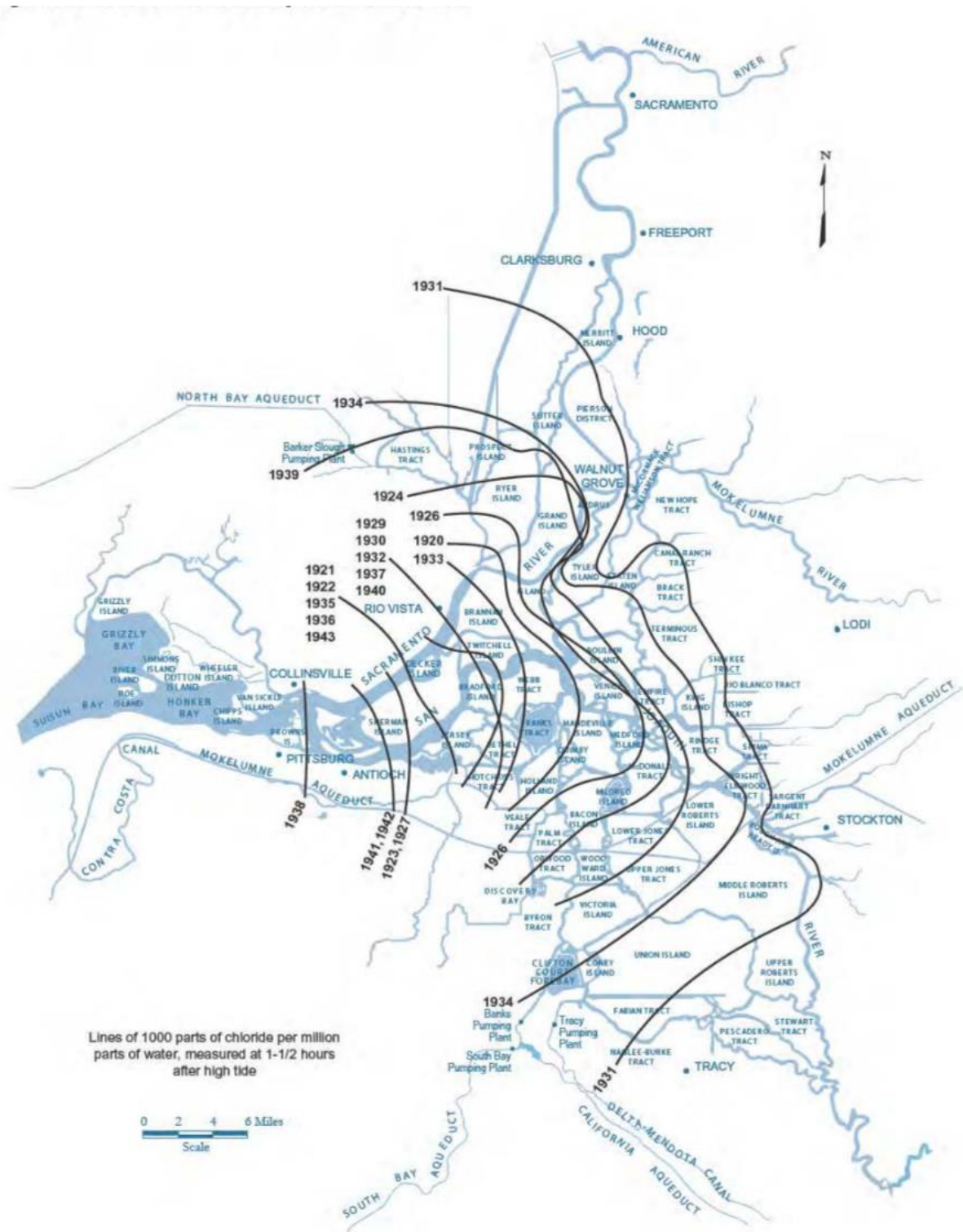
2.4.2 ΥΦΑΛΜΥΡΙΣΗ ΣΤΟ ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ SAN FRANCISCO.

Περιγράφοντας το πολύπλοκο υδροδοτικό σύστημα της Καλιφόρνιας παρατηρούμε ότι ένα σημείο μεγάλης σημασίας είναι το δέλτα των ποταμών Sacramento και San Joaquin. Τούτο διότι το δέλτα αυτό λειτουργεί σαν μεταγωγικός κόμβος μεταξύ Βορρά και Νότου για τα συστήματα Central Valley Project και State Water Project. Όπως αναφέραμε στην περιγραφή των συστημάτων αυτών, και τα δύο μεταφέρουν το νερό από τον πλούσιο σε υδατικούς πόρους βορρά της Καλιφόρνιας στον υποδεέστερο σε υδατικούς πόρους Νότο. Το μεγάλο πρόβλημα σε αυτό το εγχείρημα είναι η παλίρροια, η οποία διεισδύει μέσα στο δέλτα και κάνει το νερό των συστημάτων υφάλμυρο. Το χειμώνα που οι απορροές των ποταμών είναι μεγάλες, το γλυκό νερό δημιουργεί ένα φυσικό φραγμό και το πρόβλημα αντιμετωπίζεται. Το καλοκαίρι με τις απορροές να είναι περιορισμένες, το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους

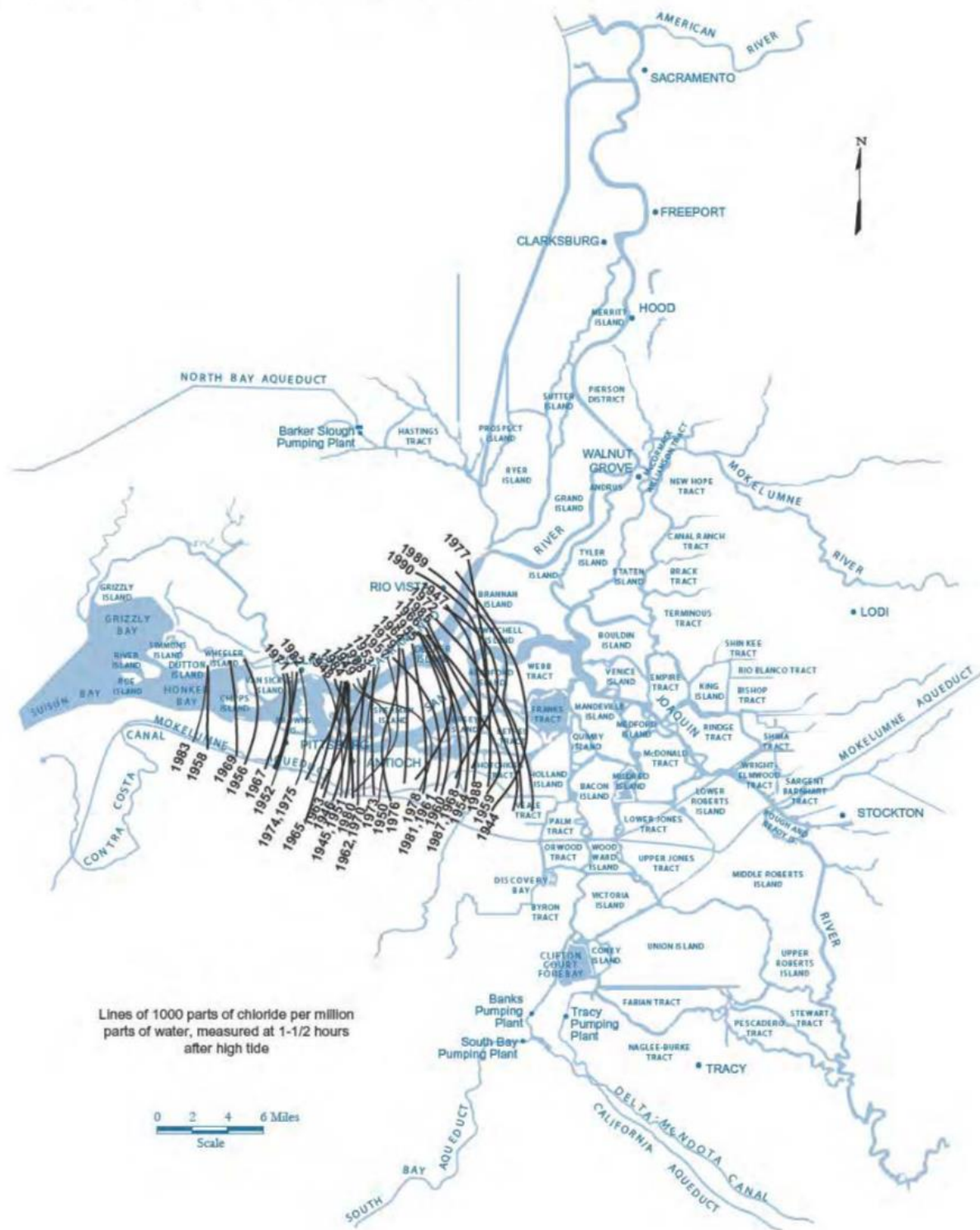
- Με απελευθέρωση μεγάλων υδατικών όγκων, από τους ταμιευτήρες που βρίσκονται στα ανάντι του ποταμού Sacramento, δημιουργώντας έτσι ένα φυσικό φραγμό στην παλίρροια.
- Με μικρά φράγματα ή με θυροφράγματα που εμποδίζουν την είσοδο του αλμυρού νερού
- Με βελτιστοποίηση των καναλιών στο δέλτα που να βελτιώνει την παροχρησιμότητα τους.

Το πρόβλημα εντείνεται κατά την διάρκεια μιας ξηρασίας αφού όλο τον χρόνο είναι οι απορροές είναι μειωμένες και το νερό των ταμιευτήρων πολύτιμο για άλλες χρήσεις (ύδρευση – άρδευση, περιβαλλοντική παροχή).

Είναι κατανοητό ότι το πρόβλημα αυτό πλήττει σοβαρά το σύστημα αν αναλογιστούμε πόσοι εξυπηρετούνται από τα CVP και SWP.



Χάρτης 2-23: Χάρτης με την είσοδο του αλμυρού νερού τις χρονιές 1921-1943 (πηγή: California Department of Water Recourses, 2015)

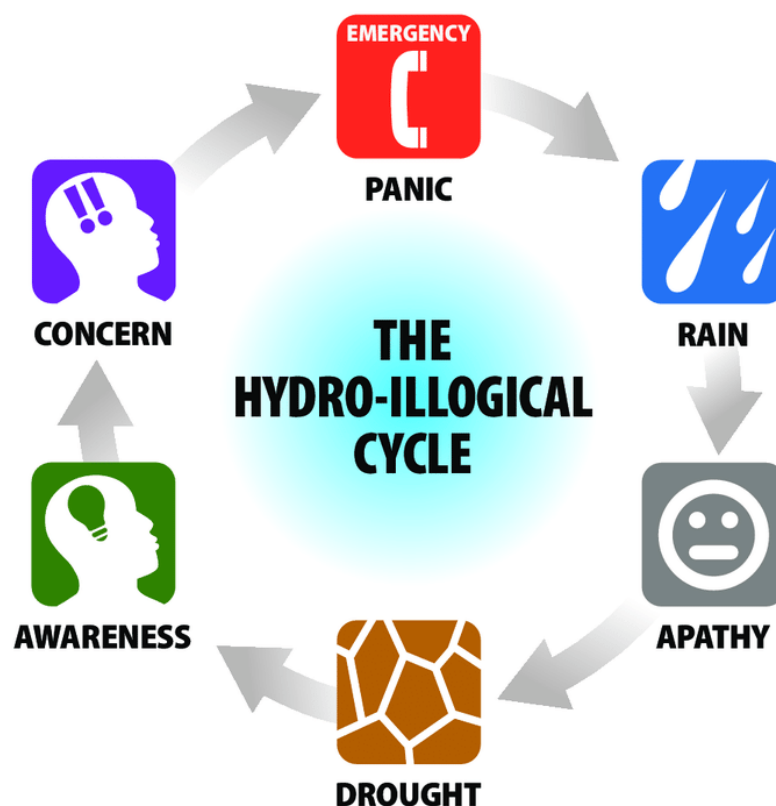


Χάρτης 2-24: Χάρτης με την είσοδο του αλμυρού νερού τις χρονιές 1944-1990 (πηγή: California Department of Water Recourses, 2015)

3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

3.1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Διερευνώντας το φαινόμενο σε βάθος αναδείξαμε την δυσκολία ορισμού του ως επακόλουθο της πολυπλοκότητας του και το εύρος επιρροής της ξηρασίας ως επίπτωση. Είναι κατανοητό ότι και η διαχείριση αυτού του ακραίου κλιματικού φαινομένου παρουσιάζει δυσκολίες και προκλήσεις. Η επιστημονική κοινότητα έχει κατατάξει την ξηρασία στα ακραία κλιματικά φαινόμενα που μπορεί να εκδηλωθούν σε οποιαδήποτε περιοχή με τη μορφή της να ποικίλλει ανάλογα με το κλίμα της περιοχής. Σε αντίθεση με τα άλλα ακραία γεγονότα, όπως καταιγίδες, πλημμύρες κ.λπ., έχει συνήθως μεγάλη χρονική διάρκεια και σχετίζεται με περιόδους που η διάθεση των υδατικών πόρων βρίσκεται σε ανεπάρκεια (Dracup, et al., 1980). Χαρακτηρίζεται ως “έρπον φαινόμενο” (Tannehill, 1947) εξελίσσεται αργά, σαν συσσωρευτικό αποτέλεσμα των μη επαρκών κατακρημνισμάτων για την αναπλήρωση των υδατικών πόρων.



Εικόνα 3-1: Ο υδρο(παρα)λογικός κύκλος της ξηρασίας (Klemes, 1990). (πηγή :National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, ανάκτηση 2018)

Λόγω αυτής της “έρπουσας” συμπεριφοράς του φαινομένου η αντίδραση μας για να την αντιμετωπίσουμε – διαχειριστούμε εμφανίζει και αυτή μια υστέρηση. Λαμβάνονται μέτρα κατά την ξηρασίας αρκετό καιρό μετά την εκκίνηση αυτής και αφού έχουμε αντιληφθεί τις επιπτώσεις, όπως περιορισμός της κατανάλωσης , αύξηση της προσφοράς του νερού, αποζημίωση των πληγέντων κ.λπ. Δηλαδή γίνεται διαχείριση της κρίσης της ξηρασίας αφού τα μέτρα είναι εφήμερα και τα αποτελέσματα τους δεν είναι ικανοποιητικά. Μόλις αρχίσουν οι βροχοπτώσεις επαναπαυόμαστε και τα μέτρα/έργα που προτείνονται από τις κυβερνήσεις κατά τη διάρκεια της ξηρασίας, εγκαταλείπονται μέχρι το επόμενο επεισόδιο ξηρασίας. Για την εσφαλμένη αυτή διαχείριση είναι αντιπροσωπευτικός ο “υδρο-(παρα)-λογικός” κύκλος (Klemes, 1990)

Ο D.A Wilhite (Wilhite, 1991 ; Wilhite et al., 2000) ανέπτυξε μια μεθοδολογία δέκα βημάτων που μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε βαθμίδα κρατικού ή γεωγραφικού περιβάλλοντος. Τα δέκα βήματα είναι τα ακόλουθα :

1. *Ορισμός μιας επιτροπής που θα ηγείται της προσπάθειας*
2. *Καθορισμός σκοπού και στόχων του σχεδιασμού*
3. *Αναζήτηση ομάδων με συγκρουόμενα συμφέροντα και συνεργασία μεταξύ τους*
4. *Καταγραφή πόρων και εκτίμηση τρωτότητας τους στην ξηρασία*
5. *Σύνταξη του σχεδίου ξηρασίας*
6. *Καθορισμός των αναγκών για την απαραίτητη έρευνα και πλήρωση θεσμικών κενών*
7. *Κατανόηση και συνεργασία μεταξύ επιστημόνων και πολιτικών*
8. *Δημοσιοποίηση του σχεδίου ξηρασίας – ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κόσμου*
9. *Ανάπτυξη εκπαιδευτικών και ενημερωτικών προγραμμάτων*
10. *Εκτίμηση και αναθεώρηση του σχεδίου ξηρασίας*

Επίσης τέσσερα είναι τα βασικά σημεία στην διαχείριση ξηρασίας στις Η.Π.Α (Motha, 2011)

1. Παρακολούθηση, Αξιολόγηση και Πρόβλεψη
2. Ετοιμότητα και Άμβλυνση
3. Απόκριση
4. Επικοινωνία

Παρόμοια είναι και η μεθοδολογία που αναπτύσσεται στις Οδηγίες Διαχείρισης Ξηρασίας (E.E., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006) και συνοψίζεται στον πίνακα που ακολουθεί. Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή το μεθοδολογικό μέρος περιλαμβάνει το χαρακτηρισμό και τη συνεχή παρακολούθηση, την αποτίμηση της επικινδυνότητας και της τρωτότητας της ξηρασίας, και πρέπει να είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με ένα επιχειρησιακό μέρος που σκοπό του έχει τον προσδιορισμό των μέτρων και του μόνιμου σχεδιασμού.



Πίνακας 3-1: Μεθοδολογία σχεδίου διαχείρισης της ξηρασίας (E.E., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006)

Μια άλλη προσέγγιση για την διαχείριση της ξηρασίας κατά τους Turton and Ohlsson (Turton and Ohlsson, 1999) περιλαμβάνει τρία κυρία στάδια που σχετίζονται με το ισοζύγιο φυσικής προσφοράς και ζήτησης του νερού.

1. Στο πρώτο στάδιο η φυσική προσφορά υπερβαίνει κατά πολύ τη ζήτηση (αφθονία νερού) και η διαχείριση περιορίζεται στη διανομή των υδατικών πόρων.
2. Στο δεύτερο στάδιο η φυσική προσφορά είναι μικρότερη από τη ζήτηση (σπανιότητα νερού) και είναι απαραίτητη η αύξηση της φυσικής προσφοράς νερού με τεχνικά έργα.
3. Στο τρίτο στάδιο η φυσική προσφορά παραμένει μικρότερη από τη ζήτηση (έλλειμμα νερού), πάρα τα συμβατικά τεχνικά έργα. Σε αυτό το στάδιο αναπόφευκτα η προσπάθεια στρέφεται στον έλεγχο της ζήτησης και την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων, εφόσον η εναλλακτική λύση είναι η κατασκευή εξαιρετικά ακριβών ή εξεζητημένων τεχνικών έργων.

Σύμφωνα με τους Turton and Ohlsson, αλλά και με τον ορισμό των Μαμάση και Κουτσογιάννη που αναφέραμε στο κεφάλαιο 1, οι κύριοι στόχοι της διαχείρισης είναι η αύξηση του διαθέσιμου νερού, η μείωση των υδατικών αναγκών και η βέλτιστη λειτουργία των υδατικών συστημάτων (ως προς τις φυσικές, και κυρίως, τις τεχνητές συνιστώσες τους) (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 2007).

- **Η αύξηση του διαθέσιμου νερού** συνηθώς γίνεται με την κατασκευή έργων άντλησης υπογείων υδροφορέων, ταμίευσης επιφανειακών υδάτων (ώστε να είναι διαθέσιμα τις ξηρές περιόδους) και μεταφοράς νερού από γειτονικές περιοχές. Εναλλακτικά, υπάρχουν οι τεχνικές της απαλάτωσης θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες περιστάσεις, λόγω μεγάλου κόστους.
- **Η μείωση των υδατικών αναγκών** στα περισσότερα υδατικά συστήματα αφορά στην πιο αποδοτική χρήση του νερού που χρησιμοποιείται για άρδευση και ύδρευση, τις κυρίαρχες δηλαδή καταναλωτικές χρήσεις του νερού. Οι ανάγκες άρδευσης εξαρτώνται από το είδος των καλλιεργειών, το είδος και την κατάσταση των αρδευτικών δικτύων και τις απώλειες των υδραγωγείων. Η μείωση του αρδευτικού νερού μπορεί να επιτευχθεί με την ανακατανομή των καλλιεργειών, την εφαρμογή

οικονομικότερων σε νερό αρδευτικών δικτύων και τη συντήρηση των έργων μεταφοράς και διανομής νερού.

Οι ανάγκες ύδρευσης εξαρτώνται από τη διακύμανση της οικιακής χρήσης, το βαθμό ανάπτυξης των άλλων χρήσεων νερού (βιομηχανικές, δημόσιες, δημοτικές κ.λπ), τα έκτακτα περιστατικά, τις απώλειες των δικτύων μεταφοράς στα διυλιστήρια και στα δίκτυα διανομής μέσα στις πόλεις.

Η οικιακή χρήση, που είναι η κυριότερη, καθορίζεται από τον υδρευόμενο πληθυσμό συμπεριλαμβανομένων των τουριστών και των μεταναστών, και το βιοτικό επίπεδο που επιδρά στην κατά κεφαλή κατανάλωση. Η μείωση του υδρευτικού νερού μπορεί να επιτευχθεί με την μείωση της κατά κεφαλή κατανάλωσης και την επισκευή των δικτύων. Η κατά κεφαλή κατανάλωση εξαρτάται σημαντικά από τα πολιτισμικά και οικονομικά χαρακτηριστικά των χρηστών αλλά και στα σύγχρονα υδρευτικά συστήματα, όπου υπάρχει εύκολη πρόσβαση στο νερό, εμπεριέχει και μια σημαντική συνιστώσα που σχετίζεται την αλόγιστη χρήση που θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί χωρίς να αλλάξει το βιοτικό επίπεδο του χρήστη. Έτσι η συνήθης πολιτική που ακολουθείται για τη μείωση της κατά κεφαλή κατανάλωσης είναι η ενημερωτική εκστρατεία για την αποτελεσματική χρήση του νερού και η αύξηση της τιμής του.

- **Η βέλτιστη λειτουργία των υδατικών συστημάτων** προϋποθέτει την μελέτη ορθολογικών, αποδοτικών και βιώσιμων τρόπων και μεθοδολογιών λειτουργίας με στόχο την ποσοτικά αξιόπιστη, ποιοτικά και περιβαλλοντικά ασφαλή, και οικονομικά πρόσφορη κάλυψη της ζήτησης, μέσω της κατάλληλης αξιοποίησης των υδατικών πόρων που διατίθενται για την κάλυψη της ζήτησης αυτής. Ειδικότερα για τη μελέτη των πολύπλοκων συστημάτων είναι απαραίτητη η χρήση εργαλείων πληροφορικής μέσω των οποίων προσδιορίζονται τα σημεία προσφοράς και ζήτησης νερού και πραγματοποιείται η μαθηματική προσομοίωση του υδατικού συστήματος.

Οι αναζητούμενοι τρόποι διαχείρισης θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από ορθολογικότητα (δηλαδή να είναι επιστημονικά θεμελιωμένοι), αποδοτικότητα (δηλαδή να αξιοποιούν τους υδατικούς πόρους στο μέγιστο δυνατό βαθμό), και βιωσιμότητα (δηλαδή να μη δημιουργούν πρόβλημα εξάντλησης των υδατικών πόρων στο μέλλον για την κάλυψη των αναγκών του σήμερα). Το αποτέλεσμα της βέλτιστης λειτουργίας είναι η κάλυψη της ζήτησης να γίνεται με αξιοπιστία (μείωση

της πιθανότητας μη κάλυψης της ζήτησης νερού σε αποδεκτά επίπεδα), με νερό ασφαλούς ποιότητας, με μεθόδους που δεν δημιουργούν προβλήματα στο περιβάλλον (οικοσυστήματα) και με οικονομικά πρόσφορο τρόπο (Κουτσογιάννης κ.α, 2002).

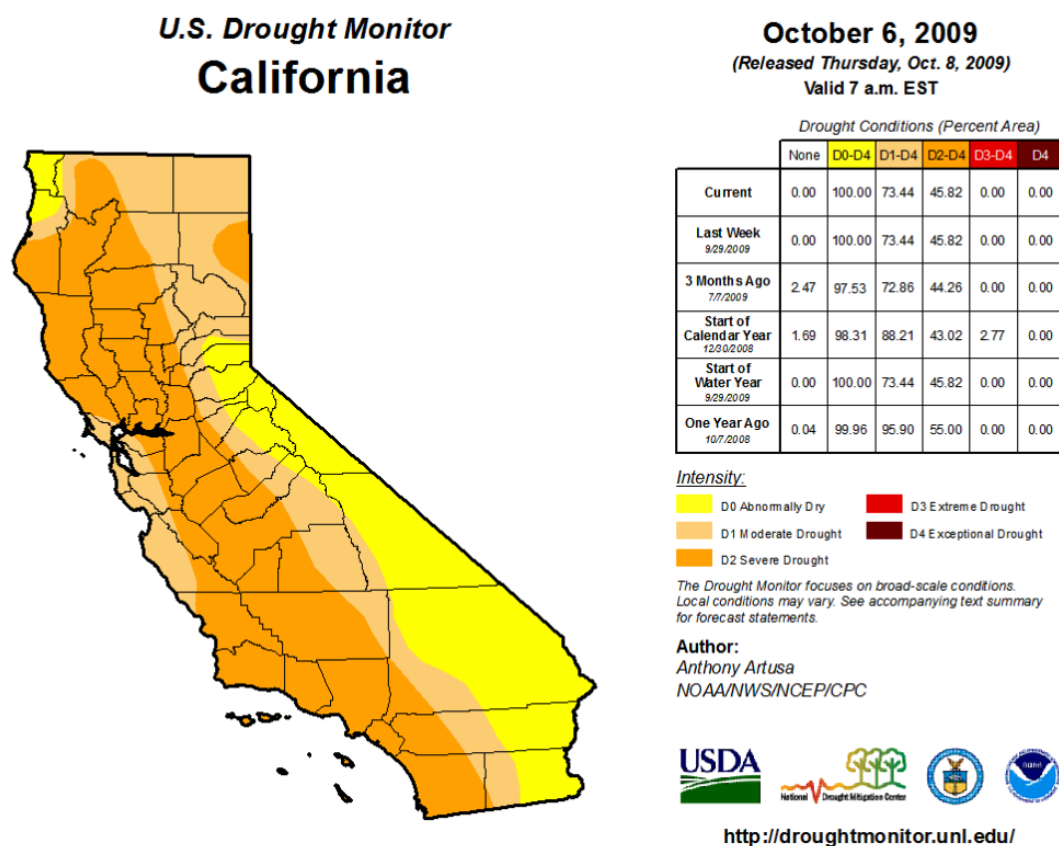
Ειδικότερα η έννοια της αξιοπιστίας αναφέρεται πρωτίστως στη μείωση της αβεβαιότητας που προκαλεί η μεταβλητότητα της φυσικής προσφοράς υδατικών πόρων (ξηρασίες) αλλά περιλαμβάνει και άλλες πηγές αβεβαιότητας, όπως τα δυσμενή έκτακτα περιστατικά (βλάβες) στα έργα του συστήματος.

3.2 ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ (2012-2016)

3.2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟΥ

Προκειμένου να περιγράψουμε το περιστατικό της ξηρασίας κάνουμε μια ιστορική αναδρομή των γεγονότων. Παράλληλα καταγράφουμε τις ενέργειες της πολιτείας της Καλιφόρνιας μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα

Ξεκινώντας την αναδρομή αυτή πρέπει να αναφέρουμε ότι η ξηρασία του 2012-2016 διαδέχτηκε ένα περιστατικό ξηρασίας τις χρονιές 2007-2009.

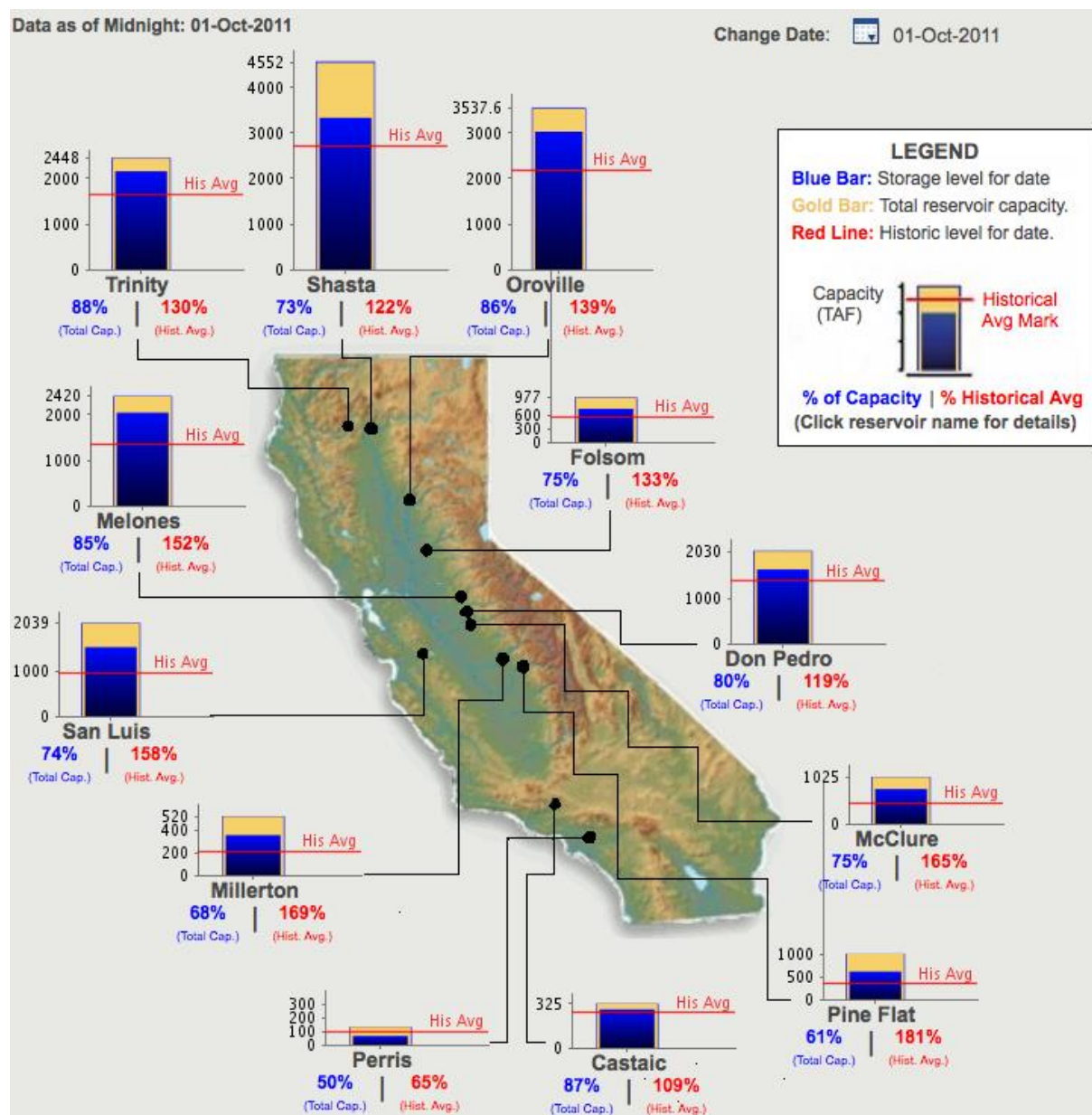


Χάρτης 3-1: Χάρτης κατάστασης ξηρασίας στην Καλιφόρνια 06-10-2009 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του U.S Drought Monitor)

Σε αυτό το διάστημα ο τότε κυβερνήτης Arnold Schwarzenegger στις 17 Σεπτεμβρίου 2007 συγκαλώντας έκτακτη σύσκεψη, δίνει εντολή για την σύνταξη ενός σχεδίου αντιμετώπισης της ξηρασίας σε επίπεδο πολιτείας. Σε συνέχεια αυτής της ενέργειας συντάσσεται το California Drought Contingency Plan (DCP), το πρώτο σχέδιο διαχείρισης ξηρασίας σε

επίπεδο πολιτείας και δημοσιεύεται στις 17 Νοεμβρίου 2010. Πριν από το σχέδιο αυτό, όλες οι αποφάσεις και ενέργειες γινόντουσαν σε επίπεδο κομητείας και σε επίπεδο συστήματος (τα συστήματα που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα).

Την ξηρασία του 2007-2009 ακολούθησε ένα αρκετά υγρό έτος 2010 – 2011 με το ύψος βροχής να φτάνει τα 1 840 mm στο βόρειο κομμάτι της πολιτείας (Northern Sierra, 8-Station Index). Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada ήταν πάνω από τον ιστορικό μέσο όρο, μαζί με τα αποθέματα των ταμιευτήρων, γεγονός που έδινε αίσθημα ασφάλειας.

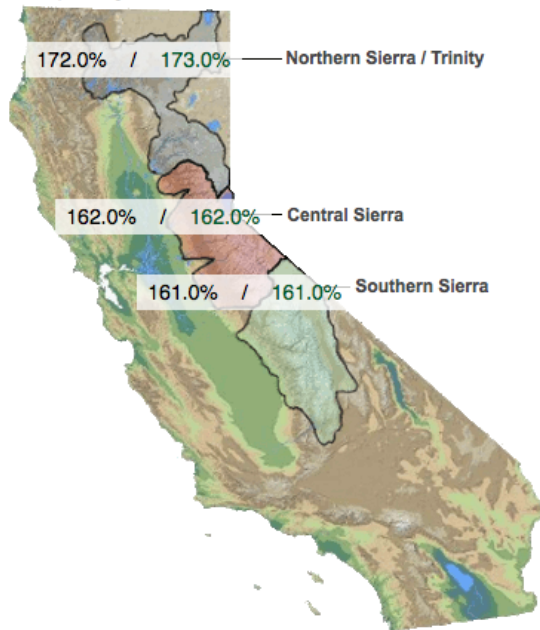


Πίνακας 3-2: Κατάσταση των κύριων ταμιευτήρων της Καλιφόρνιας την 01-10-2011 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

Provided by the California Cooperative Snow Surveys

Data For: 01-Apr-2011

% Apr 1 Avg. / % Normal for this Date



Change Date :



01-Apr-2011

NORTH

Data For: 01-Apr-2011

Number of Stations Reporting	31
Average snow water equivalent	49.3"
Percent of April 1 Average	172%
Percent of normal for this date	173%

CENTRAL

Data For: 01-Apr-2011

Number of Stations Reporting	39
Average snow water equivalent	50.1"
Percent of April 1 Average	162%
Percent of normal for this date	162%

SOUTH

Data For: 01-Apr-2011

Number of Stations Reporting	27
Average snow water equivalent	42.4"
Percent of April 1 Average	161%
Percent of normal for this date	161%

STATEWIDE SUMMARY

Data For: 01-Apr-2011

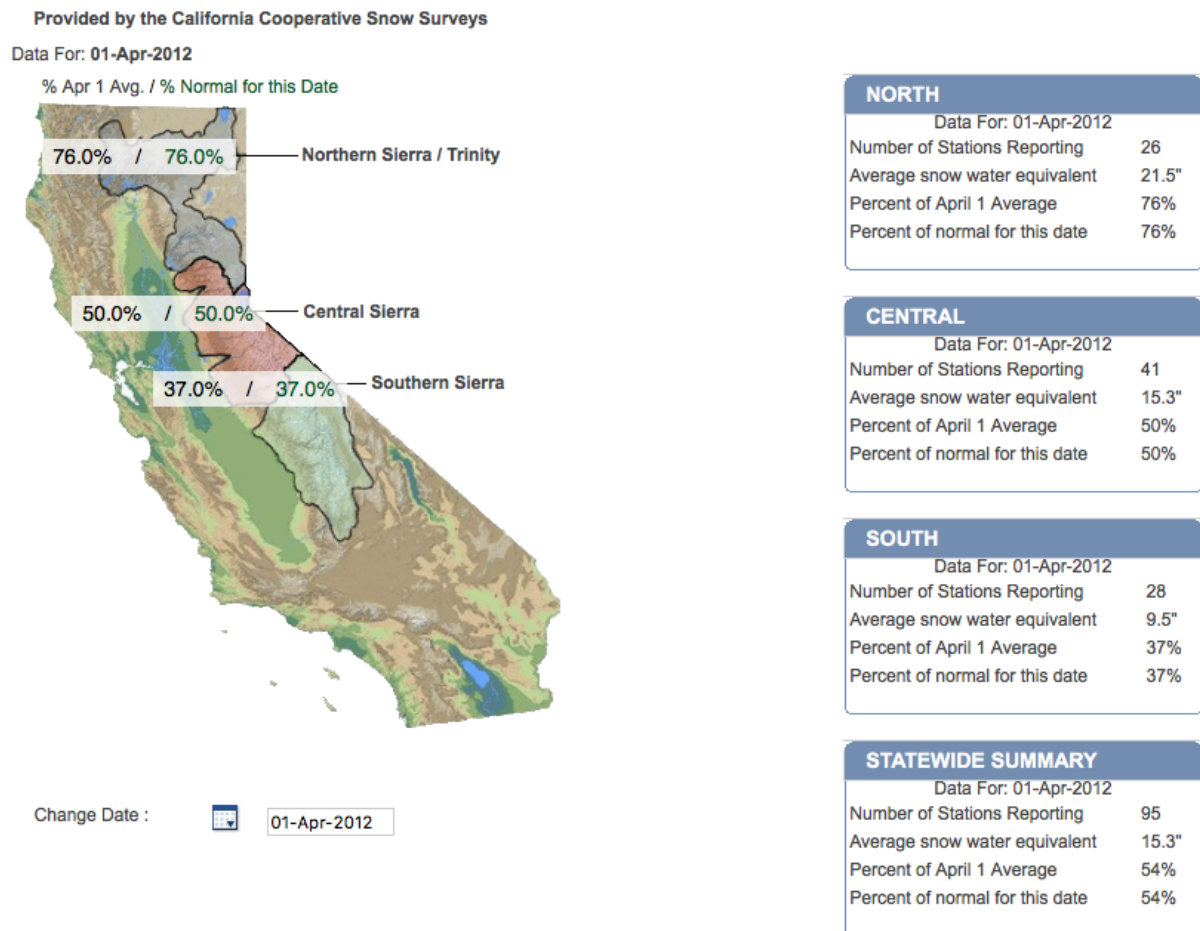
Number of Stations Reporting	97
Average snow water equivalent	47.7"
Percent of April 1 Average	165%
Percent of normal for this date	165%

Πίνακας 3-3: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2011 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

Αντίθετα στο έτος 2011 – 2012 τα ύψη βροχής είναι σε χαμηλά επίπεδα και συγκεκριμένα 1 056,64 mm (80,3% του ιστορικού μέσου) για το βόρειο κομμάτι της πολιτείας (Northern Sierra, 8-Station Index) και 635 mm (62,2% του ιστορικού μέσου) για το κεντρικό κομμάτι της Central Valley (San Joaquin, 5-Station Index). Παράλληλα τα επίπεδα χιονιού βρίσκονται σε επίπεδο πολιτείας στο 54% του ιστορικού μέσου.

Το Department of Water Resources (DWR) σαν απόκριση στις συνθήκες αυτές στις 12 Φεβρουαρίου 2012 ανακοινώνει την δημιουργία μιας συμβουλευτικής ομάδας (Climate Technical Advisory Group) με στόχο να δώσει τεχνική βοήθεια στο DWR προκειμένου η κλιματική αλλαγή να συνυπολογιστεί στην διαχείριση υδατικών πόρων στην πολιτεία. Στις 11 Ιουνίου του ίδιου έτους ο νέος πρόεδρος του DWR ανακοινώνει το Climate Action Plan

που έχει σαν στόχο την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στο 50% των επιπέδων του 1990 στα επόμενα επτά χρόνια.

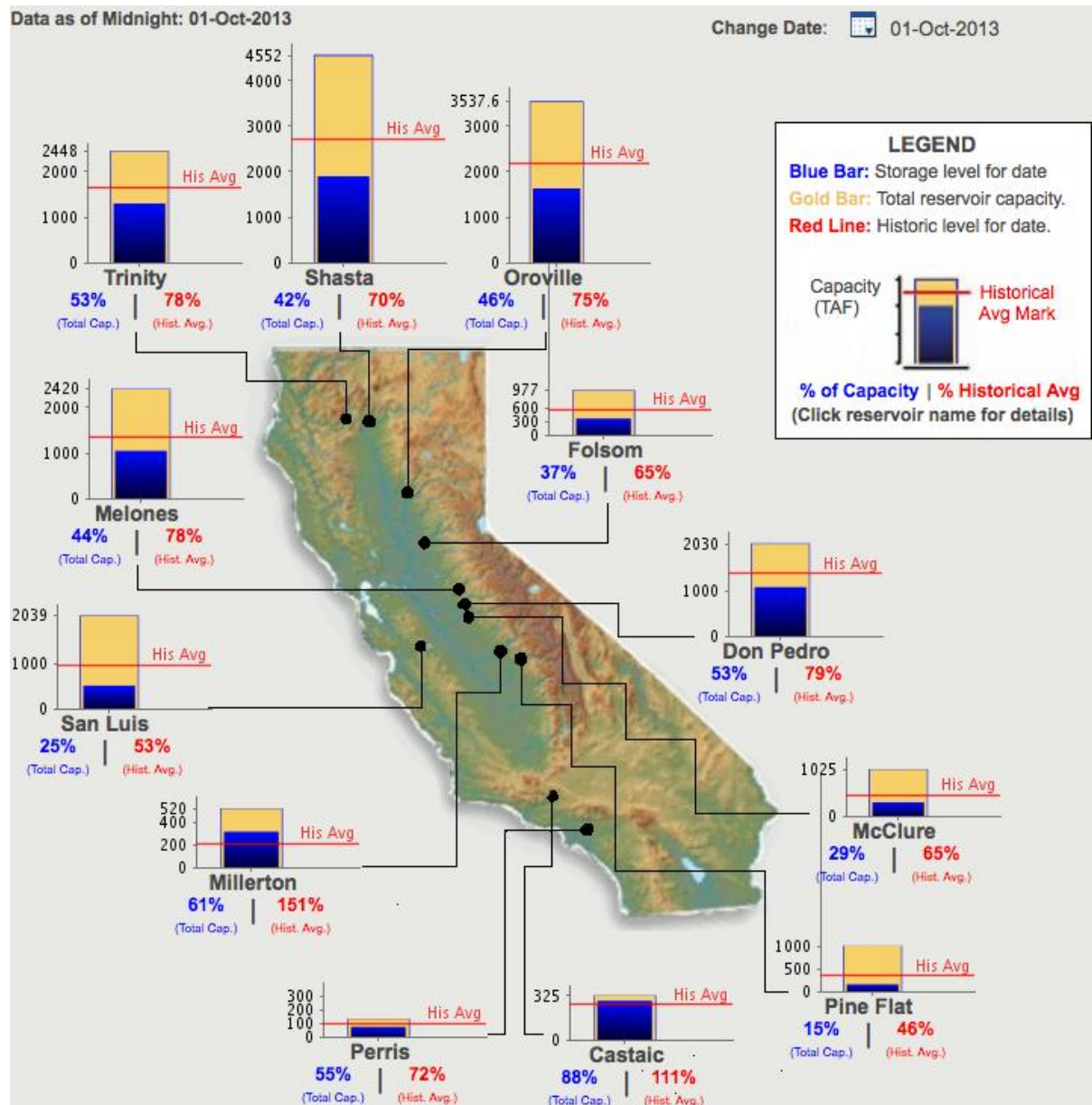


Πίνακας 3-4: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2012 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

Τα χαμηλά ύψη βροχής επιμένουν και το 2012 - 2013. Συγκεκριμένα 1 125,22 mm (85,5% του ιστορικού μέσου) για το βόρειο κομμάτι της πολιτείας (Northern Sierra, 8-Station Index), 408,94 mm (55,9% του ιστορικού μέσου) για το νότιο τμήμα της Central Valley (Tulare Basin, 6-Station Index) και 673,1 mm (65,7% του ιστορικού μέσου) για το κεντρικό κομμάτι της Central Valley (San Joaquin, 5-Station Index). Παράλληλα το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης να βρίσκονται σε επίπεδο πολιτείας στο 47% του ιστορικού μέσου.

Οι ταμιευτήρες του συστήματος βρίσκονται σε στάθμη κάτω του ιστορικού μέσου και η πολιτεία σύμφωνα με το U.S Drought Monitor βρίσκεται στην μεγαλύτερη έκταση της σε κατάσταση σοβαρής ξηρασίας (severe drought).

Με τα δεδομένα αυτά ο νέος κυβερνήτης της Καλιφόρνιας Edmund G. Brown Jr, στις 17 Δεκεμβρίου 2013 συγκαλεί (βάσει του DCP) ομάδα που θα παρακολουθεί την ξηρασία στην πολιτεία (Drought Task Force) και θα συντονίζει τις ενέργειες για την άμβλυνση των επιπτώσεων της.

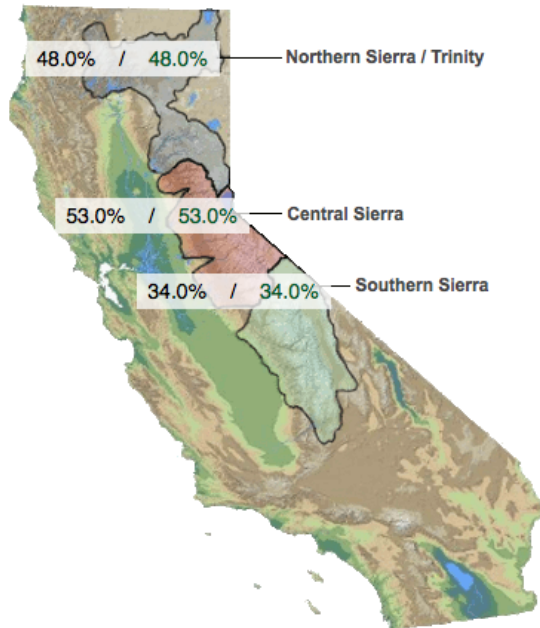


Πίνακας 3-5: Η κατάσταση των κύριων ταμιεντήρων της Καλιφόρνιας την 01-10-2013 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

Provided by the California Cooperative Snow Surveys

Data For: 01-Apr-2013

% Apr 1 Avg. / % Normal for this Date



Change Date :



01-Apr-2013

NORTH

Data For: 01-Apr-2013	
Number of Stations Reporting	30
Average snow water equivalent	13.6"
Percent of April 1 Average	48%
Percent of normal for this date	48%

CENTRAL

Data For: 01-Apr-2013	
Number of Stations Reporting	40
Average snow water equivalent	16.2"
Percent of April 1 Average	53%
Percent of normal for this date	53%

SOUTH

Data For: 01-Apr-2013	
Number of Stations Reporting	29
Average snow water equivalent	8.5"
Percent of April 1 Average	34%
Percent of normal for this date	34%

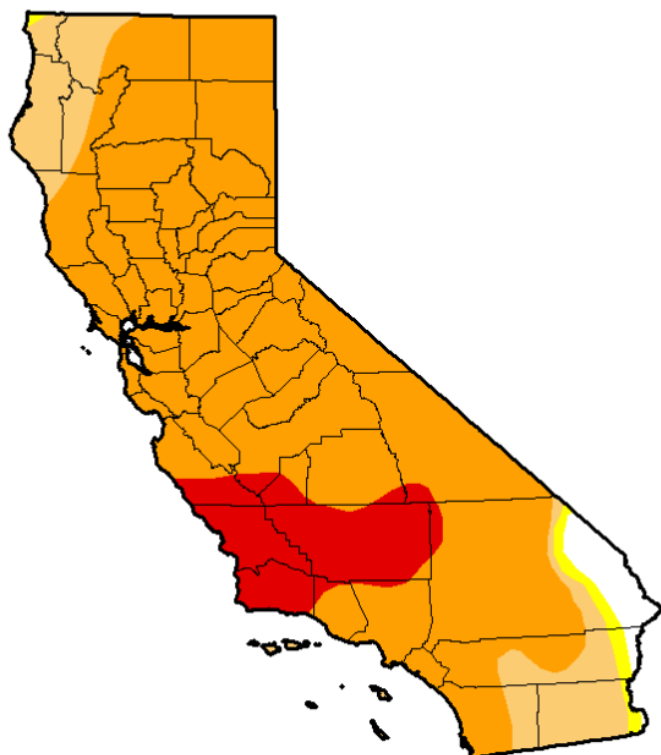
STATEWIDE SUMMARY

Data For: 01-Apr-2013	
Number of Stations Reporting	99
Average snow water equivalent	13.2"
Percent of April 1 Average	47%
Percent of normal for this date	47%

Πίνακας 3-6: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2013 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

U.S. Drought Monitor California

October 1, 2013
(Released Thursday, Oct. 3, 2013)
Valid 7 a.m. EDT



Drought Conditions (Percent Area)

	None	D0-D4	D1-D4	D2-D4	D3-D4	D4
Current	2.63	97.37	95.95	84.12	11.36	0.00
Last Week 9/24/2013	2.63	97.37	96.04	89.84	11.36	0.00
3 Months Ago 7/2/2013	0.00	100.00	98.23	92.70	0.00	0.00
Start of Calendar Year 1/1/2013	31.75	68.25	55.32	22.50	0.00	0.00
Start of Water Year 10/1/2013	2.63	97.37	95.95	84.12	11.36	0.00
One Year Ago 10/2/2012	11.94	88.06	69.41	21.98	1.14	0.00

Intensity:

D0 Abnormally Dry	D3 Extreme Drought
D1 Moderate Drought	D4 Exceptional Drought
D2 Severe Drought	

The Drought Monitor focuses on broad-scale conditions. Local conditions may vary. See accompanying text summary for forecast statements.

Author:
David Miskus
NOAA/NWS/NCEP/CPC



<http://droughtmonitor.unl.edu/>

Χάρτης 3-2: Χάρτης κατάστασης ξηρασίας στην Καλιφόρνια την 01-10-2013 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του U.S Drought Monitor)

Στην αρχή του 2014 στις 17 Ιανουαρίου ο κυβερνήτης κηρύσσει την πολιτεία σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης και στις 27 του ίδιου μήνα δημοσιεύεται το California Water Action Plan. Το σχέδιο αυτό συντάχθηκε, θέτοντας τους παρακάτω στόχους:

1. Να γίνει τρόπος ζωής η εξοικονόμηση των υδατικών πόρων.
2. Να αυξηθεί η περιφερειακή αυτονομία και να υπάρχει ολοκληρωμένη διαχείριση σε όλα τα επίπεδα διακυβέρνησης.
3. Να πετύχει όλους τους στόχους για το Δέλτα των ποταμών Sacramento – San Joaquin.
4. Να προστατέψει και να αποκαταστήσει τα οικοσυστήματα.
5. Να διαχειριστεί και να προετοιμαστεί για τις ξηρασίες.
6. Να αυξήσει την αποθήκευση νερού και να βελτιώσει την διαχείριση των υπόγειων νερών.
7. Να παρέχει ασφαλές προς κατανάλωση νερό για όλες τις κοινότητες.
8. Να αυξήσει την προστασία έναντι πλημμυρών.

9. *Να αυξήσει την επιχειρησιακή και κανονιστική αποτελεσματικότητα.*
10. *Να αναζητήσει ασφαλείς και ολοκληρωμένους τρόπους χρηματοδότησης.*

Στις 03-03-2014 ο κυβερνήτης υπογράφει νόμο που δίνει 687 400 000 \$ για μέτρα κατά της ξηρασίας και άμβλυση των επιπτώσεων της. Συγκεκριμένα :

- 549 000 000\$ για τοπικές και περιφερειακές υποδομές που δεν έχουν ολοκληρωθεί ακόμη και αυξάνουν την τοπική/περιφερειακή αυτονομία, συμπεριλαμβανομένων έργων που συλλέγουν το νερό της βροχής, έργων που διευρύνουν την χρήση και διανομή ανακυκλώσιμου νερού, που ενισχύουν τον εμπλουτισμό και την διαχείριση των υπογείων υδροφορέων καθώς και ενθαρρύνουν την εξοικονόμηση νερού.
- 30 000 000\$ για το Greenhouse Gas Reduction Fund του DWR για δαπάνες και επιδοτήσεις που ενισχύουν ελαχιστοποιούν τις απώλειες νερού, εξοικονομούν ενέργεια και μειώνουν την εκπομπή ρύπων στα τοπικά και πολιτειακά δίκτυα νερού.
- 14 000 000\$ για την διαχείριση των υπόγειων υδροφορέων.
- 10 000 000\$ για το Greenhouse Gas Reduction Fund του California Department of Food and Agriculture προκειμένου να επενδύσει σε συστήματα άρδευσης και άντλησης που εξοικονομούν νερό, ενέργεια και ρύπους.
- 15 000 000\$ από το General Fund για το Emergency Drinking Water Fund για έκτακτες ανάγκες λόγω ξηρασίας.
- 13 000 000\$ από το General Fund για το California Conservation Corps για να επεκτείνει τις δράσεις του, να βελτιώσει τις χρήσεις νερού και να μειώσει τα φορτία καυσίμων ως προληπτικό μέτρο για τυχόν πυρκαγιές.
- 25 300 000\$ από το General Fund για ενίσχυση σίτισης των πληγέντων από την ξηρασία.
- 21 000 000\$ από το General Fund για ενίσχυση στέγασης των πληγέντων από την ξηρασία.

Παράλληλα στον ίδιο νόμο ο κυβερνήτης παροτρύνει την εθελοντική κατά κεφαλήν μείωση κατανάλωσης νερού κατά 20%.

Στις 19-03-2014 το State Water Board εγκρίνει χαμηλότοκο δάνειο 800 000 000\$ για έργα ανακύκλωσης νερού που θα παράγουν 183,45 hm³ ετησίως.

Στις 25-04-2014 το State Water Board προτείνει μέτρα και κανονισμούς για την εξοικονόμηση νερού σε συνέχεια της έκκλησης του κυβερνήτη.

Στις 16-09-2014 υπογράφεται νόμος για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υπόγειων υδροφορέων για πρώτη φορά στην Καλιφόρνια.

Στις 4 Νοεμβρίου 2014 ψηφίζεται η Proposition 1 με προβλεπόμενη χρηματοδότηση 7 500 000 000 \$. Συγκεκριμένα :

- 2 700 000 000\$ σε έργα αποθήκευσης νερού, φράγματα και ταμιευτήρες.
- 1 495 000 000\$ σε επιχορηγήσεις για την προστασία και αποκατάσταση οικοσυστημάτων και υδροβιότοπων.
- 900 000 000\$ σε επιδοτήσεις και χαμηλότοκα δάνεια για έργα που περιορίζουν ή αποτρέπουν την μόλυνση υπόγειων υδροφορέων που εξυπηρετούν την ύδρευση.
- 810 000 000\$ σε δαπάνες, επιχορηγήσεις και χαμηλότοκα δάνεια για έργα που αφορούν την ολοκληρωμένη περιφερειακή διαχείριση υδατικών πόρων καθώς και προετοιμασία για ξηρασία και κλιματική αλλαγή.
- 725 000 000\$ για ανακύκλωση νερού και προχωρημένες μεθόδους επεξεργασίας νερού.
- 520 000 000\$ για την βελτίωση της ποιότητας νερού ύδρευσης για τις ασθενέστερες κοινότητες.
- 395 000 000\$ για αντιπλημμυρική προστασία.

Στις 02-12-2014 το DWR κρούει τον κώδωνα του κινδύνου ενημερώνοντας ότι σε όλες τις υδρολογικές λεκάνες παρατηρείται ταπείνωση του υπόγειου υδροφορέα λόγω υπεράντλησης.

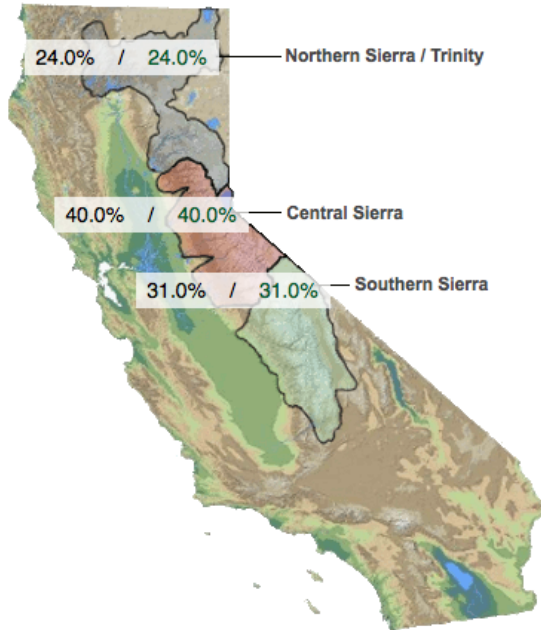
Στις 30-12-2014 δημοσιεύεται μελέτη των Daniel Griffin και Kevin J. Anchukaitis όπου με παλαιοκλιματικά δεδομένα και χρήση του δείκτη PSDI, διαπιστώνουν η ξηρασία των ετών 2012-2014 είναι η σφοδρότερη των τελευταίων 1200 ετών.

Για το έτος 2013-2014, τα χαμηλά ύψη βροχής επιμένουν. Συγκεκριμένα 795,02 mm (60,4% του ιστορικού μέσου) για το βόρειο κομμάτι της πολιτείας (Northern Sierra, 8-Station Index), 360,69 mm (49,3% του ιστορικού μέσου) για το νότιο τμήμα της Central Valley (Tulare Basin, 6-Station Index) και 518,16 mm (50,7% του ιστορικού μέσου) για το κεντρικό κομμάτι της Central Valley (San Joaquin, 5-Station Index). Παράλληλα τα επίπεδα χιονιού βρίσκονται σε επίπεδο πολιτείας στο 33% του ιστορικού μέσου.

Provided by the California Cooperative Snow Surveys

Data For: 01-Apr-2014

% Apr 1 Avg. / % Normal for this Date



Change Date :



01-Apr-2014

NORTH

Data For: 01-Apr-2014

Number of Stations Reporting	27
Average snow water equivalent	6.8"
Percent of April 1 Average	24%
Percent of normal for this date	24%

CENTRAL

Data For: 01-Apr-2014

Number of Stations Reporting	41
Average snow water equivalent	12.1"
Percent of April 1 Average	40%
Percent of normal for this date	40%

SOUTH

Data For: 01-Apr-2014

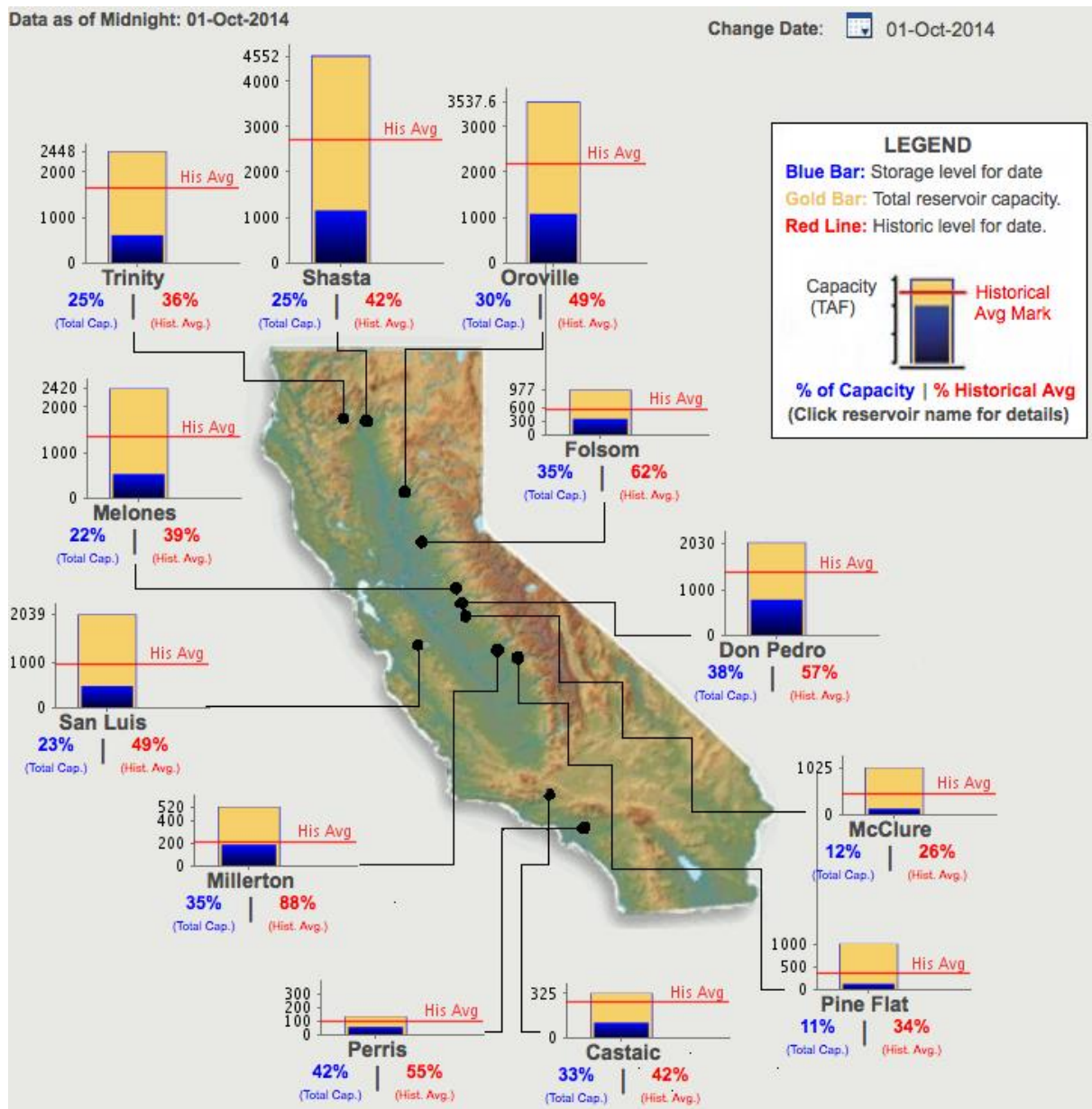
Number of Stations Reporting	29
Average snow water equivalent	8.2"
Percent of April 1 Average	31%
Percent of normal for this date	31%

STATEWIDE SUMMARY

Data For: 01-Apr-2014

Number of Stations Reporting	97
Average snow water equivalent	9.4"
Percent of April 1 Average	33%
Percent of normal for this date	33%

Πίνακας 3-7: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2014 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

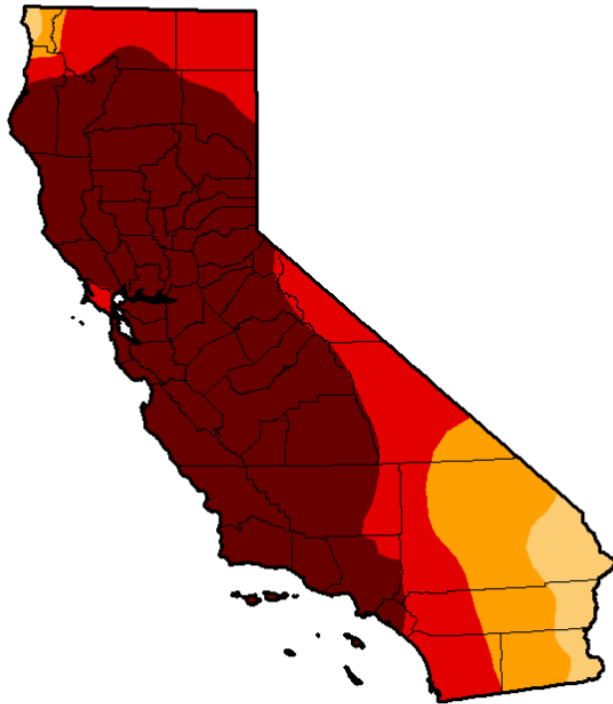


Πίνακας 3-8: Η κατάσταση των κύριων ταμιευτήρων της Καλιφόρνιας την 01-10-2014 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

Οι ταμιευτήρες του συστήματος βρίσκονται σε στάθμη αρκετά μικρότερη του ιστορικού μέσου και η πολιτεία σύμφωνα με το U.S Drought Monitor βρίσκεται στην μεγαλύτερη έκταση της σε κατάσταση εξαιρετικής ξηρασίας (exceptional drought).

U.S. Drought Monitor California

October 7, 2014
(Released Thursday, Oct. 9, 2014)
Valid 8 a.m. EDT



Drought Conditions (Percent Area)

	None	D0-D4	D1-D4	D2-D4	D3-D4	D4
Current	0.00	100.00	100.00	95.04	81.92	58.41
Last Week 9/30/2014	0.00	100.00	100.00	95.04	81.92	58.41
3 Months Ago 7/8/2014	0.00	100.00	100.00	100.00	78.97	36.46
Start of Calendar Year 12/1/2013	2.61	97.39	94.25	87.53	27.59	0.00
Start of Water Year 9/30/2014	0.00	100.00	100.00	95.04	81.92	58.41
One Year Ago 10/8/2013	2.52	97.48	95.95	84.12	11.36	0.00

Intensity

- D0 Abnormally Dry
- D1 Moderate Drought
- D2 Severe Drought
- D3 Extreme Drought
- D4 Exceptional Drought

The Drought Monitor focuses on broad-scale conditions. Local conditions may vary. See accompanying text summary for forecast statements.

Author:

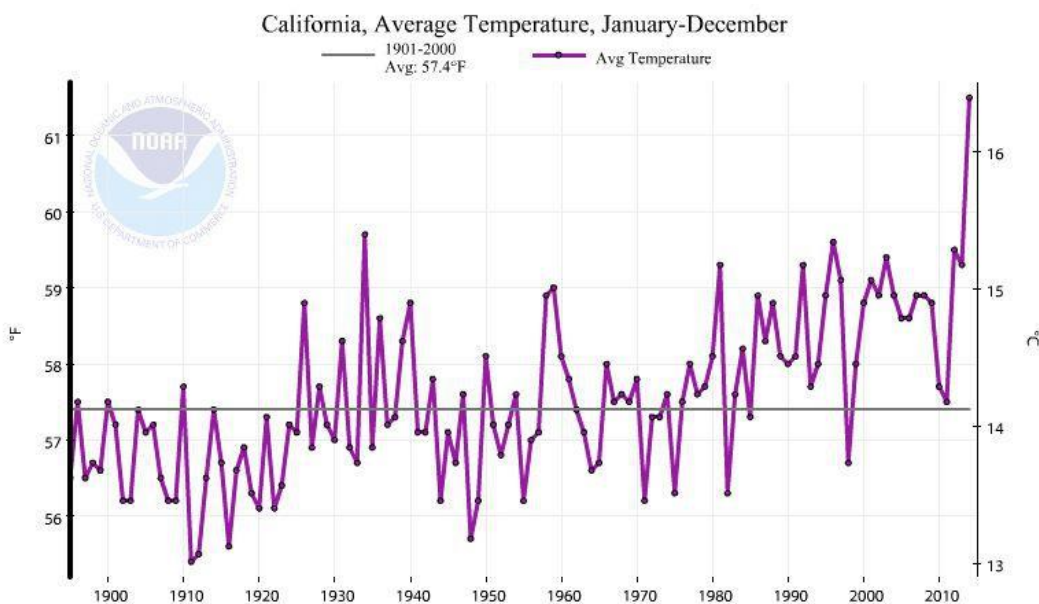
Mark Svoboda
National Drought Mitigation Center



<http://droughtmonitor.unl.edu/>

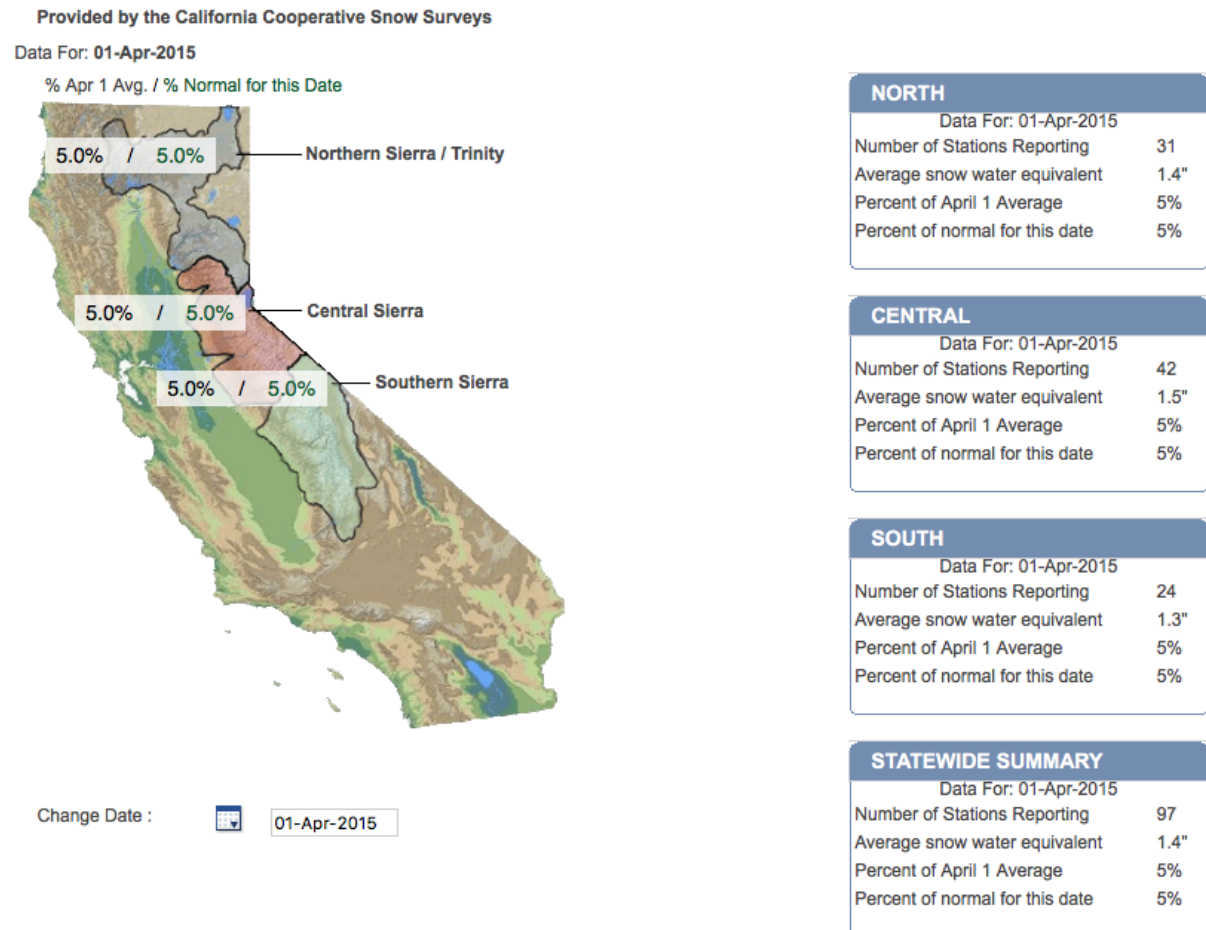
Χάρτης 3-3: Χάρτης κατάστασης ξηρασίας στην Καλιφόρνια την 01-10-2014 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του U.S Drought Monitor)

Στις 02-01-2015 ο NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ανακοινώνει ότι το 2014 ήταν το θερμότερο έτος για την Καλιφόρνια, σύμφωνα με τα ιστορικά δεδομένα.



Πίνακας 3-9: Διάγραμμα μέσης ετήσιας θερμοκρασίας για τα έτη 1875-2014 (πηγή : NOAA, ανάκτηση 2018)

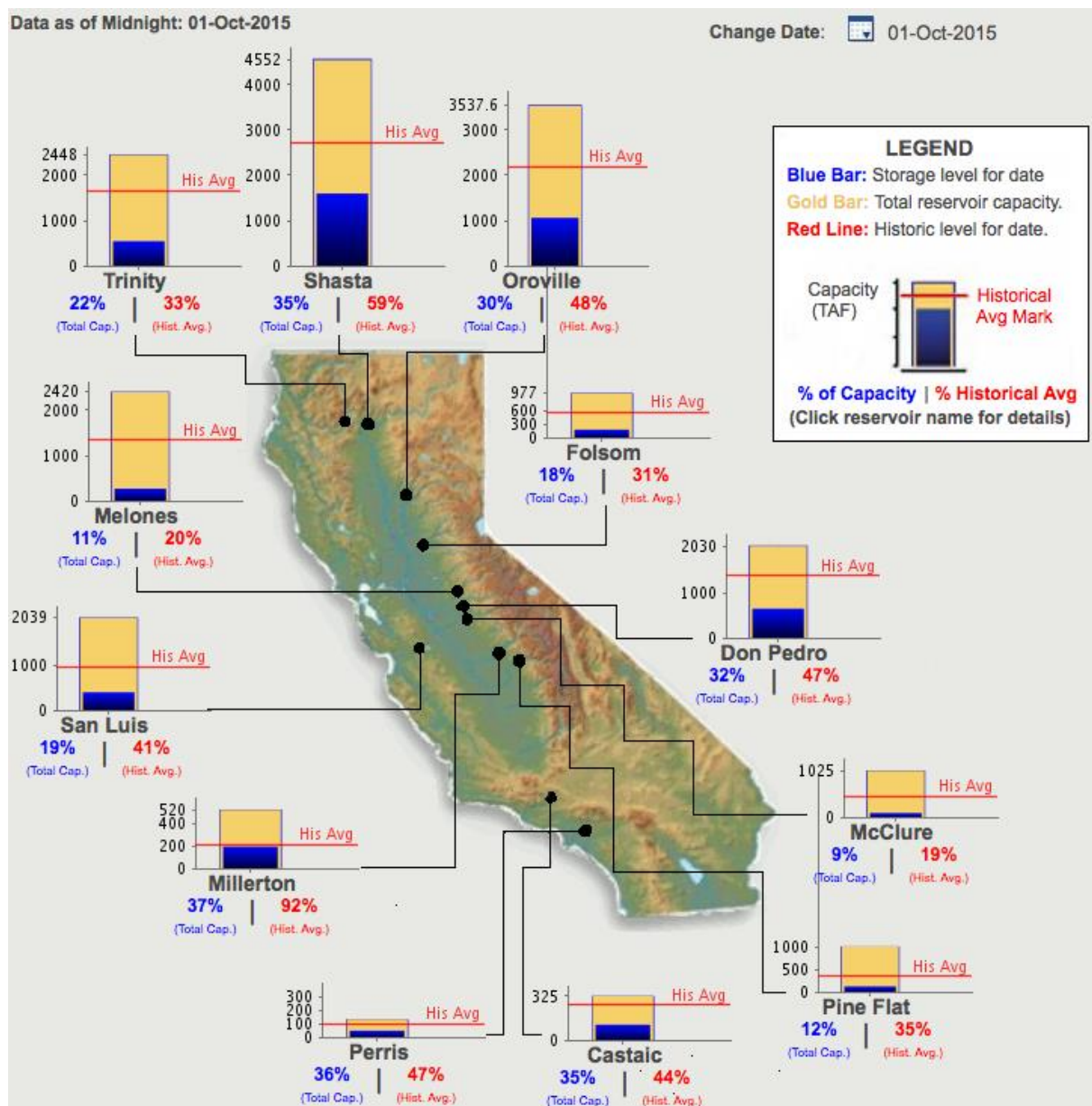
Τον Απρίλιο του 2015 με το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης να βρίσκονται σε επίπεδο πολιτείας στο 5% του ιστορικού μέσου, ο κυβερνήτης επιβάλλει για πρώτη φορά σε επίπεδο πολιτείας υποχρεωτική μείωση της κατανάλωσης νερού σε όλες τις πόλεις κατά 25%, μαζί με άλλα μέτρα (αναλύονται σε επόμενη ενότητα).



Πίνακας 3-10: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2015 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

Στις 13-05-2015 η California Energy Commission εγκρίνει 16 000 000\$ για τεχνολογίες που βελτιστοποιούν την εξοικονόμηση νερού και ενέργειας και αέριων εκπομπών του θερμοκηπίου.

Στις 29-05-2015 για πρώτη φορά στην ιστορία από το 1913 διακόπτεται η λειτουργία του Los Angeles Aqueduct λόγω των επιπτώσεων της ξηρασίας στην περιοχή της Owens Valley.

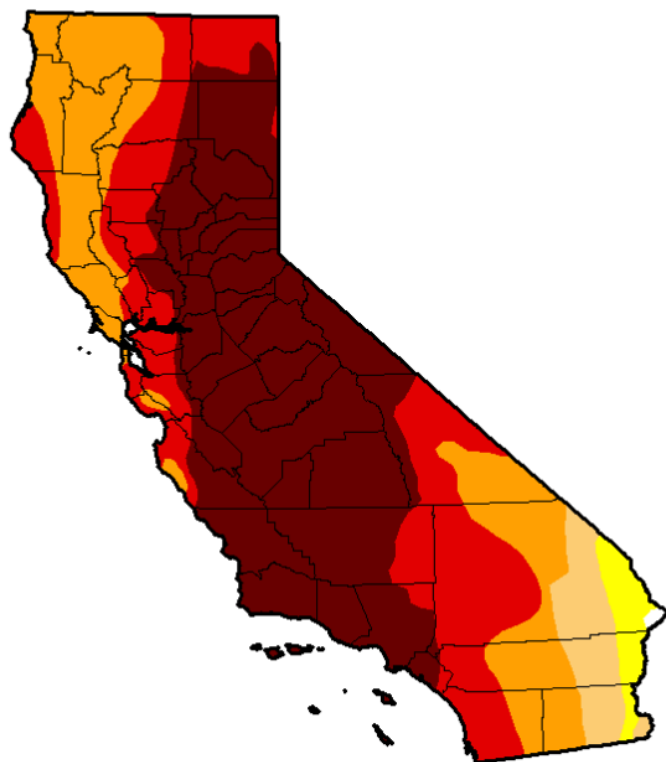


Πίνακας 3-11: Η κατάσταση των κύριων ταμιεντήρων της Καλιφόρνιας την 01-10-2015 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

Για το έτος 2014-2015, τα χαμηλά ύψη βροχής παραμένουν. Συγκεκριμένα 944,88 mm (71,8% του ιστορικού μέσου) για το βόρειο κομμάτι της πολιτείας (Northern Sierra, 8-Station Index), 342,90 mm (46,9% του ιστορικού μέσου) για το νότιο τμήμα της Central Valley (Tulare Basin, 6-Station Index) και 482,60 mm (47,3% του ιστορικού μέσου) για το κεντρικό κομμάτι της Central Valley (San Joaquin, 5-Station Index). Οι ταμιεντήρες του συστήματος βρίσκονται σε στάθμη αρκετά μικρότερη του ιστορικού μέσου και η πολιτεία σύμφωνα με το U.S Drought Monitor βρίσκεται στην μεγαλύτερη έκταση της σε κατάσταση εξαιρετικής ξηρασίας (exceptional drought).

U.S. Drought Monitor California

October 6, 2015
(Released Thursday, Oct. 8, 2015)
Valid 8 a.m. EDT



Drought Conditions (Percent Area)

	None	D0-D4	D1-D4	D2-D4	D3-D4	D4
Current	0.14	99.86	97.33	92.36	71.08	46.00
Last Week 9/29/2015	0.14	99.86	97.33	92.36	71.08	46.00
3 Months Ago 7/7/2015	0.14	99.86	98.71	94.59	71.08	46.73
Start of Calendar Year 12/02/2014	0.00	100.00	98.12	94.34	77.94	32.21
Start of Water Year 9/29/2015	0.14	99.86	97.33	92.36	71.08	46.00
One Year Ago 10/7/2014	0.00	100.00	100.00	95.04	81.92	58.41

Intensity:

D0 Abnormally Dry	D3 Extreme Drought
D1 Moderate Drought	D4 Exceptional Drought
D2 Severe Drought	

The Drought Monitor focuses on broad-scale conditions. Local conditions may vary. See accompanying text summary for forecast statements.

Author:

David Miskus
NOAA/NWS/NCEP/CPC



<http://droughtmonitor.unl.edu/>

Χάρτης 3-4: Χάρτης κατάστασης ξηρασίας στην Καλιφόρνια την 06-10-2015 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του U.S Drought Monitor)

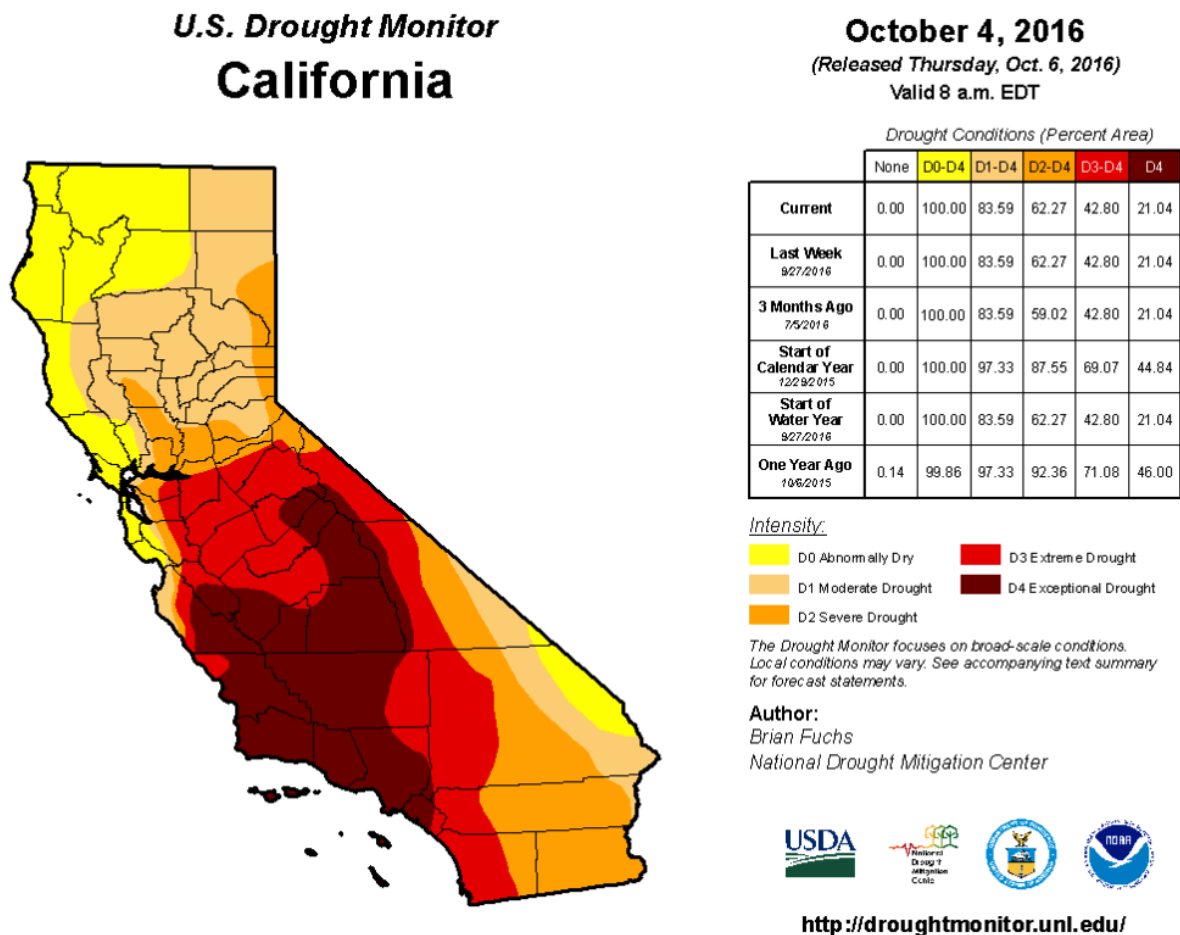
Στις 05-01-2016 το State Water Board εγκρίνει την πώληση ομολόγων αξίας 1 200 000 000\$ για την χρηματοδότηση νέων έργων που αφορούν την βελτίωση της ποιότητας του νερού και την αποτροπή της μόλυνσης του νερού.

Στις 02-02-2016 το State Water Board παρατείνει τα μέτρα κατανάλωσης νερού.

Στις 18-05-2016 το DWR δημοσιεύει το Sustainable Groundwater Management Act (SGMA) μια σειρά κανονισμών με στόχο την διαχείριση των υπόγειων υδροφορέων. Επίσης το State Water Board άρει την υποχρεωτική μείωση της κατανάλωσης νερού κατά 25%. Παράλληλα επιβάλλεται ένα καθεστώς παρακολούθησης και στόχων σε τοπικό επίπεδο με σκοπό να εξασφαλίσουν πόρους για τρία χρόνια υποθέτοντας ότι θα ακολουθήσουν ακόμη τρία χρόνια ξηρασίας.

Για το έτος 2015-2016, τα επίπεδα βροχόπτωσης φαίνεται να επανέρχονται. Συγκεκριμένα 1 470,66 mm (111,70% του ιστορικού μέσου) για το βόρειο κομμάτι της πολιτείας (Northern

Sierra, 8-Station Index), 655,32 mm (89,50% του ιστορικού μέσου) για το νότιο τμήμα της Central Valley (Tulare Basin, 6-Station Index) και 1 016 mm (99,50% του ιστορικού μέσου) για το κεντρικό κομμάτι της Central Valley (San Joaquin, 5-Station Index). Το U.S Drought Monitor δείχνει πως το φαινόμενο υποχωρεί.



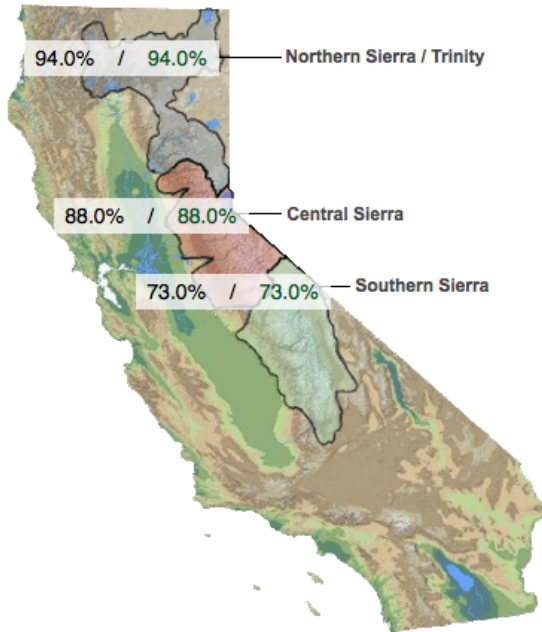
Χάρτης 3-5: Χάρτης κατάστασης ξηρασίας στην Καλιφόρνια την 04-10-2016 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του U.S Drought Monitor)

Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης βρίσκεται σε επίπεδο πολιτείας στο 86% του ιστορικού μέσου και οι ταμιευτήρες του συστήματος επανέρχονται σε φυσιολογικά επίπεδα στάθμης. Βρίσκονται ακόμη κάτω από τον ιστορικό μέσο όρο.

Provided by the California Cooperative Snow Surveys

Data For: 01-Apr-2016

% Apr 1 Avg. / % Normal for this Date



Change Date :



01-Apr-2016

NORTH

Data For: 01-Apr-2016	
Number of Stations Reporting	28
Average snow water equivalent	27.1"
Percent of April 1 Average	94%
Percent of normal for this date	94%

CENTRAL

Data For: 01-Apr-2016	
Number of Stations Reporting	39
Average snow water equivalent	25.1"
Percent of April 1 Average	88%
Percent of normal for this date	88%

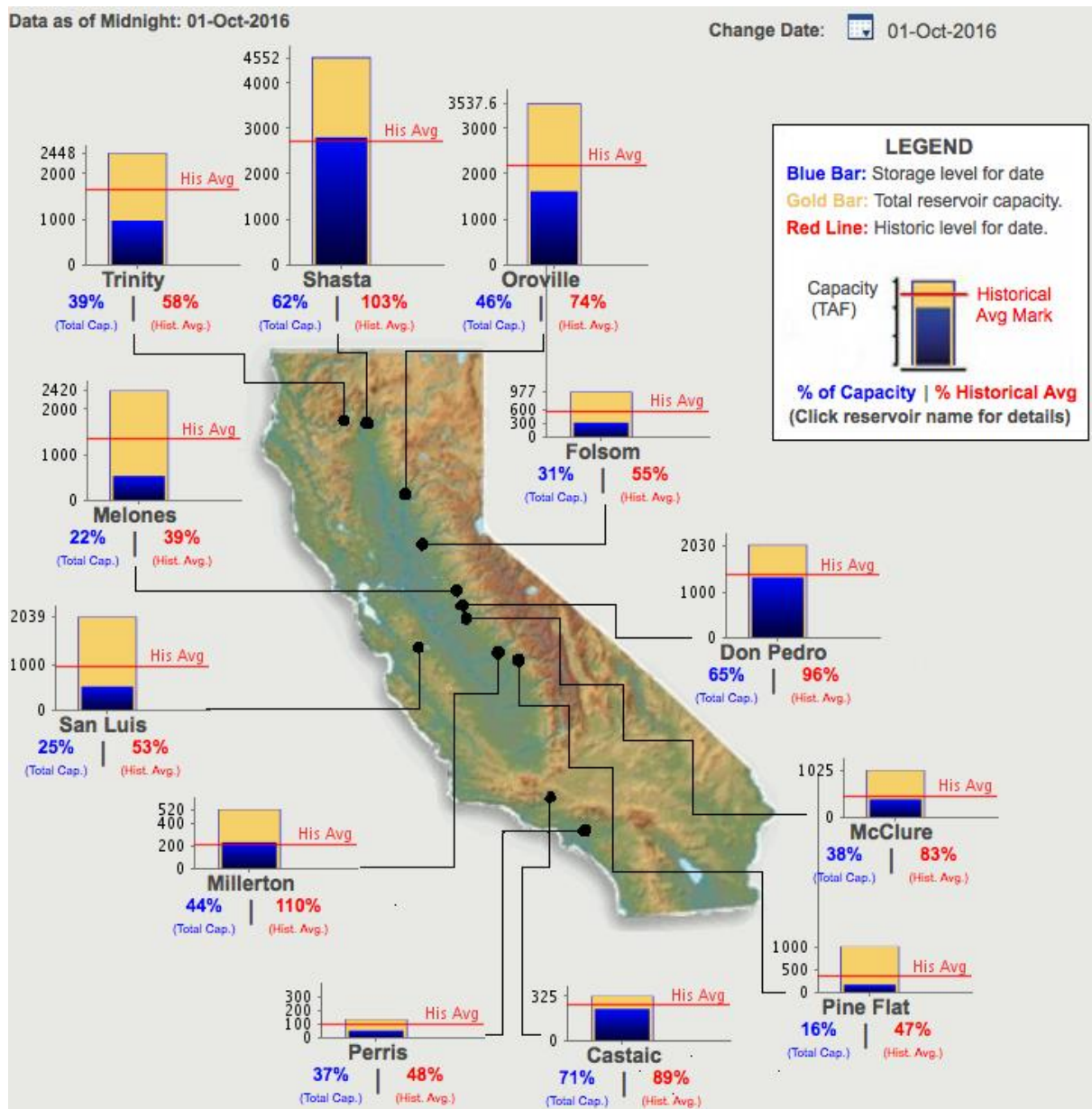
SOUTH

Data For: 01-Apr-2016	
Number of Stations Reporting	27
Average snow water equivalent	19.4"
Percent of April 1 Average	73%
Percent of normal for this date	73%

STATEWIDE SUMMARY

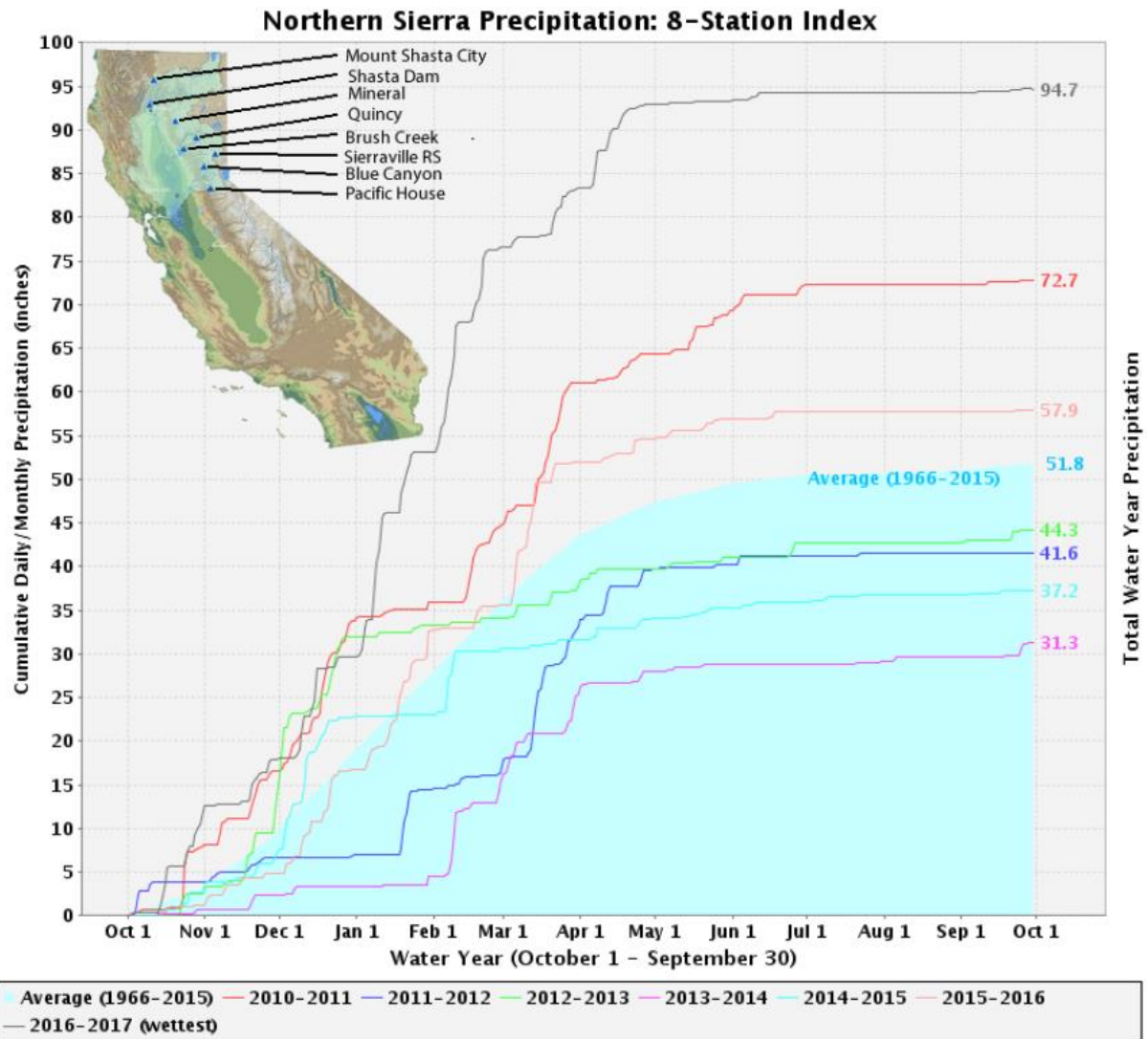
Data For: 01-Apr-2016	
Number of Stations Reporting	94
Average snow water equivalent	24.1"
Percent of April 1 Average	86%
Percent of normal for this date	86%

Πίνακας 3-12: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2016 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

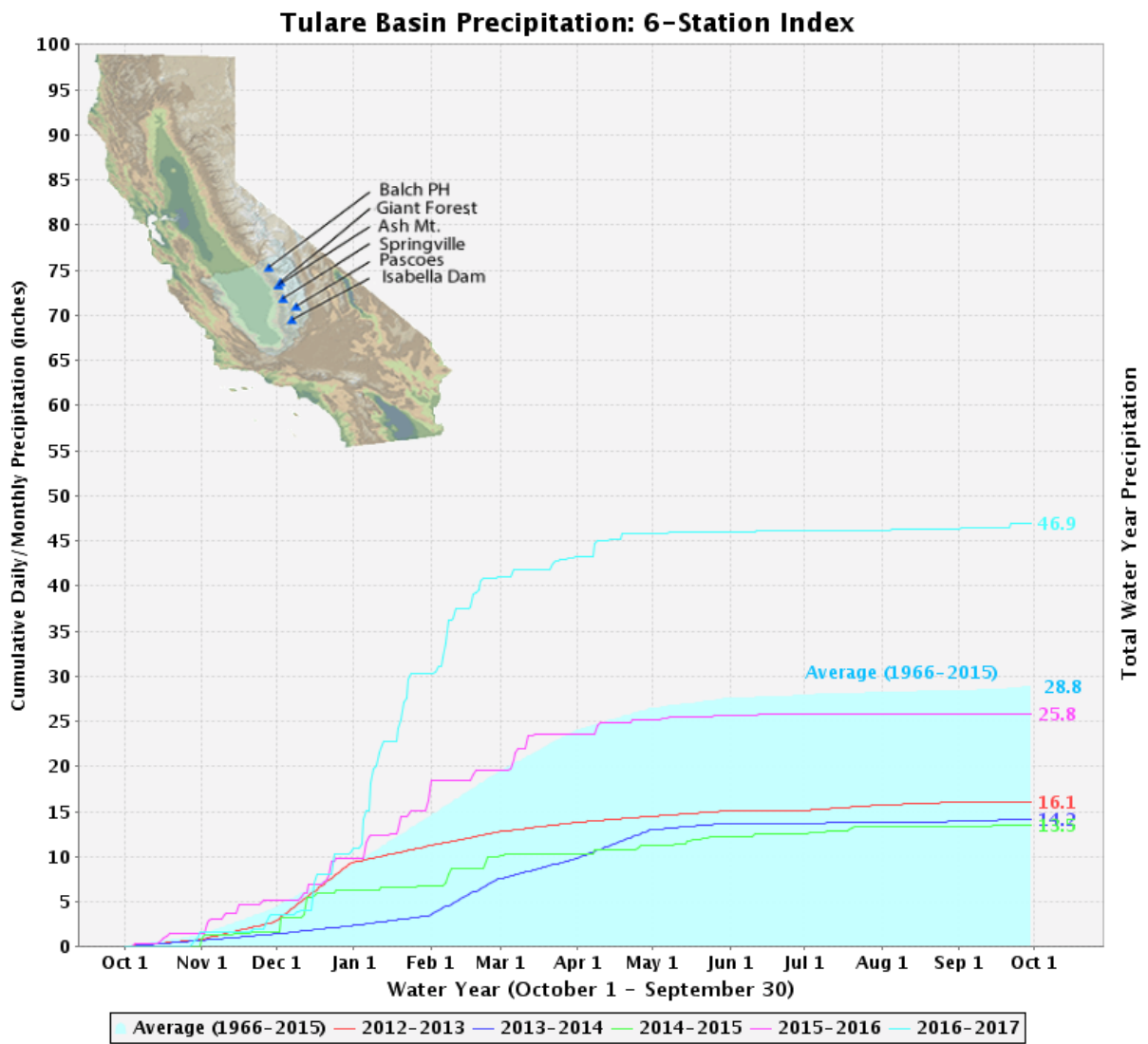


Πίνακας 3-13: Η κατάσταση των κύριων ταμιευτήρων της Καλιφόρνιας την 01-10-2016 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

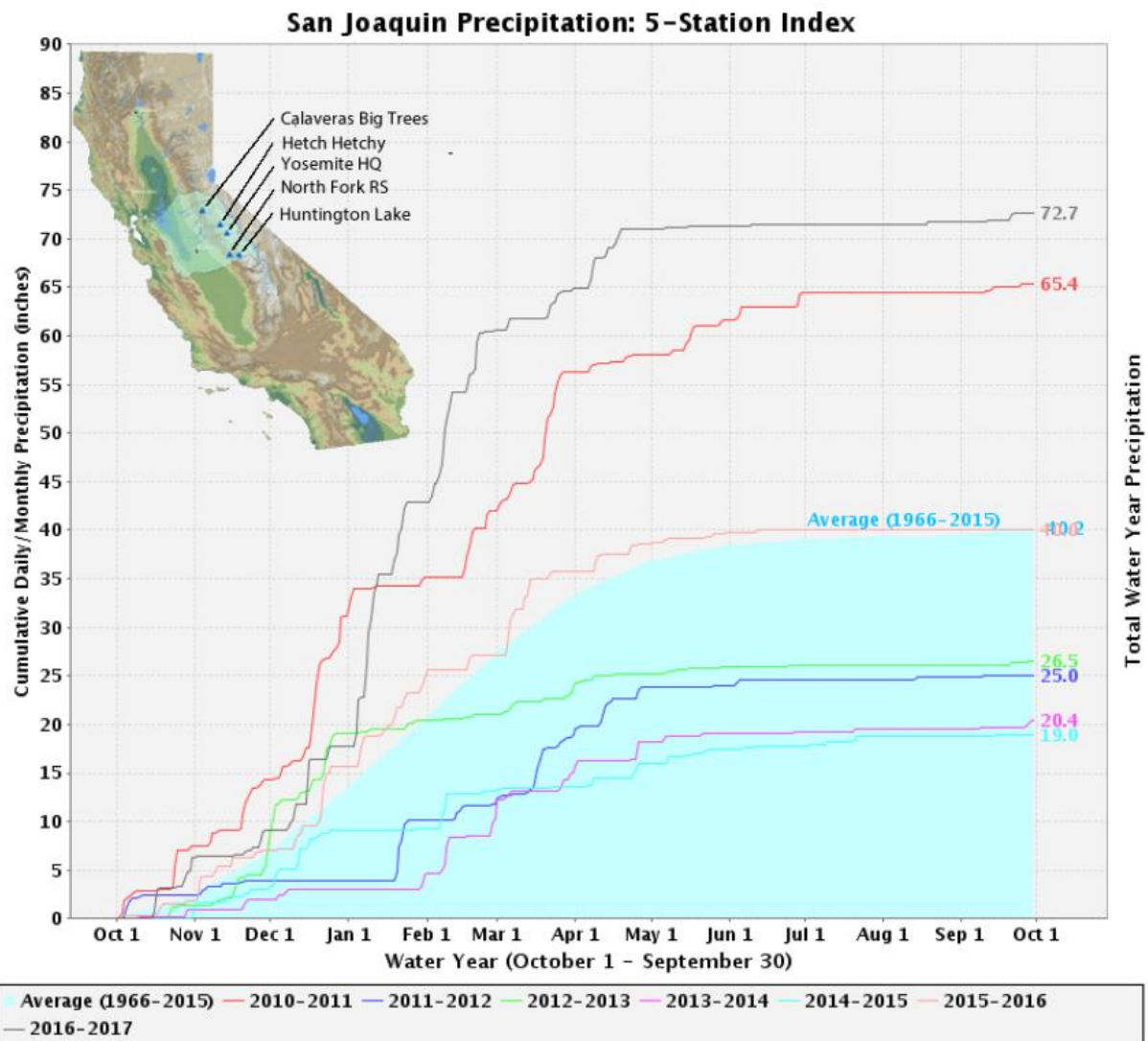
Το 07-05-2017 ο κυβερνήτης Edmund G. Brown Jr κηρύσσει το τέλος της ξηρασίας. Το υδρολογικό έτος 2016-2017 ήταν ιστορικά το πιο υγρό. Τα ύψη βροχής ήταν : 2 405,38 mm (182,81% του ιστορικού μέσου) για το βόρειο κομμάτι της πολιτείας (Northern Sierra, 8-Station Index), 1 191,26 mm (162,85% του ιστορικού μέσου) για το νότιο τμήμα της Central Valley (Tulare Basin, 6-Station Index) και 1 846,58 mm (180,84% του ιστορικού μέσου) για το κεντρικό κομμάτι της Central Valley (San Joaquin, 5-Station Index). Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης βρίσκεται σε επίπεδο πολιτείας στο 163% του ιστορικού μέσου και οι ταμιευτήρες του συστήματος σε στάθμες άνω του ιστορικού μέσου όρου.



Πίνακας 3-14: Διάγραμμα: ύψη βροχής για τα έτη 2010-2017 από Northern Sierra, 8-Station Index (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)



Πίνακας 3-15: Διάγραμμα: ύψη βροχής για τα έτη 2010-2017 από Tulare Basin, 6-Station Index (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

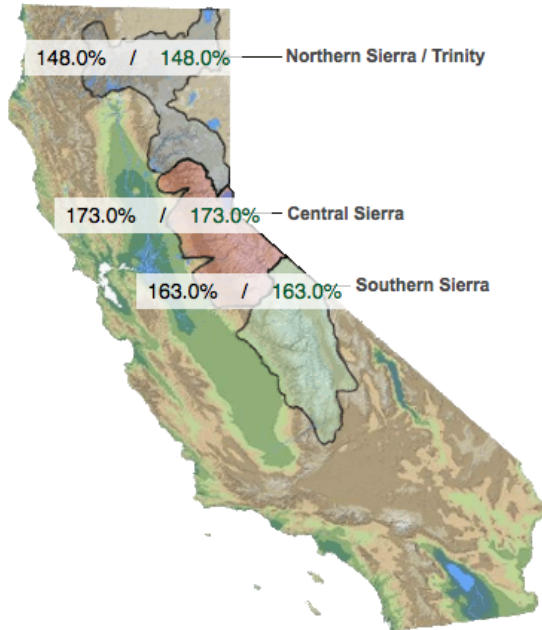


Πίνακας 3-16: Διάγραμμα: ύψη βροχής για τα έτη 2010-2017 από San Joaquin, 5-Station Index (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

Provided by the California Cooperative Snow Surveys

Data For: 01-Apr-2017

% Apr 1 Avg. / % Normal for this Date



Change Date :



01-Apr-2017

NORTH

Data For: 01-Apr-2017

Number of Stations Reporting	28
Average snow water equivalent	41.5"
Percent of April 1 Average	148%
Percent of normal for this date	148%

CENTRAL

Data For: 01-Apr-2017

Number of Stations Reporting	41
Average snow water equivalent	49.9"
Percent of April 1 Average	173%
Percent of normal for this date	173%

SOUTH

Data For: 01-Apr-2017

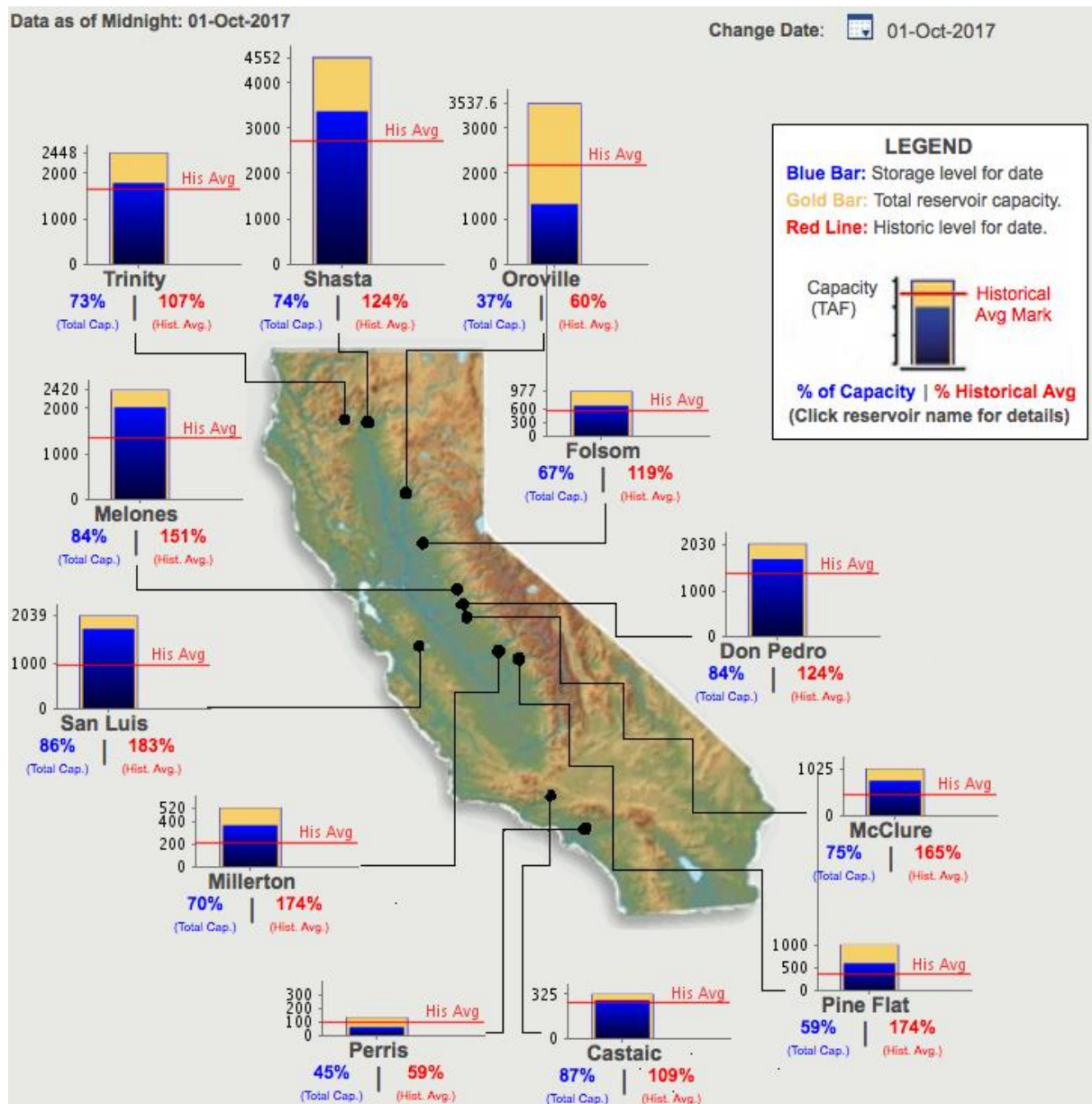
Number of Stations Reporting	26
Average snow water equivalent	43.7"
Percent of April 1 Average	163%
Percent of normal for this date	163%

STATEWIDE SUMMARY

Data For: 01-Apr-2017

Number of Stations Reporting	95
Average snow water equivalent	45.7"
Percent of April 1 Average	163%
Percent of normal for this date	163%

Πίνακας 3-17: Το ισοδύναμο ύψος νερού χιονοκάλυψης στην Sierra Nevada την 01-04-2017 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)



Πίνακας 3-18: Η κατάσταση των κύριων ταμιευτήρων της Καλιφόρνιας την 01-10-2016 (δεδομένα και κατασκευή βάσει λογισμικού του DWR)

3.2.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟΥ

Στην ιστορική αναδρομή των κύριων γεγονότων του περιστατικού της ξηρασίας είδαμε τις αντιδράσεις τόσο σε επίπεδο κανονισμών όσο και σε επίπεδο τεχνικών έργων. Το ποσό που δαπανήθηκε για την αντιμετώπιση της ξηρασίας στα έτη 2014-2016 ήταν συνολικά 10 203 000 000\$. Οι τομείς που δόθηκε βαρύτητα ήταν οι ακόλουθοι:

1. Υπόγεια Νερά
2. Ολοκληρωμένη τοπική διαχείριση υδατικών πόρων, μείωση της κατανάλωσης νερού στις πόλεις & εξοικονόμηση νερού.
3. Ανακύκλωση νερού
4. Μείωση ενεργειακών αναγκών και εκπομπών των αερίου του θερμοκηπίου.

3.2.2.1 ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ

Στόχος σε αυτόν τον τομέα ήταν κατάρτιση ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης σε επίπεδο πολιτείας και έργα προστασίας και εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων. Για τους στόχους αυτούς δαπανήθηκαν συνολικά \$914 000 000. Αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας ήταν η κατάρτιση του πρώτου σχεδίου διαχείρισης των υπογείων υδροφορέων στην πολιτεία (Sustainable Groundwater Management Act, SGMA), 17 έργα αναπλήρωσης, προστασίας και καθαρισμού υπόγειων υδροφορέων και 102 έργα για εκμετάλλευση, παρακολούθηση και διαχείριση υπόγειων υδροφορέων (περιλαμβάνει κατασκευή έργων άντλησης, κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης και όργανα/κατασκευές παρακολούθησης).

Το SGMA είναι ένα σχέδιο που έχει κύριους στόχους:

- Να παρέχει βιώσιμη διαχείριση των υπόγειων υδροφορέων.
- Να ενισχύσει την τοπική διαχείριση των λεκανών αυτών ενώ παράλληλα θα διασφαλίσει τα νομικά δικαιώματα πάνω στο νερό σύμφωνα με την κειμένη νομοθεσία
- Να θέσει τις ελάχιστες προϋποθέσεις για την βιώσιμη διαχείριση των υπόγειων υδρολογικών λεκανών.
- Να παρέχει στις τοπικές διαχειριστικές αρχές την εξουσιοδότηση, την τεχνική και οικονομική βοήθεια για την βιώσιμη διαχείριση των υπόγειων υδρολογικών λεκανών.
- Να ελαχιστοποιήσει τις καθολικές καθιζήσεις

- Να βελτιώσει την συλλογή δεδομένων και την τεχνογνωσία πάνω στους υπόγειους υδροφορείς
- Να αυξήσει την αποθήκευση νερού στις λεκάνες αυτές και να άρει τυχόν εμπόδια για τον εμπλουτισμό αυτών.
- Να γίνεται η βέλτιστη διαχείριση των υπόγειων λεκανών να γίνεται με την ελάχιστη ανάμιξη της πολιτείας.
- Να παρέχει μια αποτελεσματική και χαμηλού κόστους επιδίκαση χρήσης νερού για την επιτάχυνση όλων των προαναφερθέντων ενεργειών.

3.2.2.2 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΤΟΠΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ, ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΙΣ ΠΟΛΕΙΣ & ΜΕΤΡΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ.

Προκειμένου να προωθηθεί η ολοκληρωμένη τοπική διαχείριση υδατικών πόρων και να ενσωματωθούν στο πρόγραμμα IRWM (Integrated Regional Water Management) όσο το δυνατόν περισσότερα υδρευτικά συστήματα σε όλες τις κομητείες δαπανήθηκαν \$480 000 000 για την κατάρτιση σχεδίων IRWM.

\$7 000 000 για εύρεση και αποκατάσταση διαρροών δικτύου στην περιοχή του Los Angeles.

\$15 600 000 για έργα που συλλέγουν και χρησιμοποιούν βρόχινο νερό.

Όσον αφορά την μείωση κατανάλωσης νερού στις πόλεις η πολιτεία προχώρησε στα παρακάτω μέτρα:

- Απαγόρευση του πλυσίματος πεζοδρομίων και αυλών.
- Απαγόρευση του ποτίσματος με τρόπο που να σπαταλά νερό.
- Απαγόρευση πλυσίματος οχημάτων με λάστιχα που δεν έχουν εξάρτημα που διακόπτουν την ροή
- Απαγόρευση της λειτουργίας σιντριβανιών.
- Απαγόρευση της άρδευσης πάνω από δύο φορές την εβδομάδα.
- Απαγόρευση της άρδευσης χλόης κατά την διάρκεια βροχής και πριν παρέλθουν 48 ώρες από αυτήν.
- Χώροι εστίασης θα προσφέρουν νερό μόνο εάν ο πελάτης το επιθυμεί.
- Χώροι στέγασης θα προσφέρουν την επιλογή να μην πλένονται καθημερινά τα κλινοσκεπάσματα και οι πετσέτες των επισκεπτών.

- Αντικατάσταση 4,6 km² γκαζόν και χλόης με φυτά ανθεκτικά στην ξηρασία.
- Απαγόρευση της άρδευσης γκαζόν και χλόης που ανήκουν στο δημόσιο.

Τα παραπτώματα αυτά τιμωρούνταν με πρόστιμο \$ 500

Οι εταιρείες ύδρευσης ήταν υποχρεωμένες :

- Να ενημερώνουν τους πελάτες τους εάν έχουν διαρροές στο οικιακό δίκτυο τους.
- Να προτείνουν τρόπους στους πελάτες τους ώστε να ελαττώσουν την κατανάλωση τους κατά 25%. Για τους πελάτες που δεν συμμορφώνονταν οι εταιρείες είχαν το δικαίωμα να επιβάλλουν πρόστιμο \$500 ημερησίως
- Να ελαττώσουν την συνολική κατανάλωση νερού τους κατά 25%. Σε διαφορετική περίπτωση το πρόστιμο ανερχόταν στις \$10 000 ημερησίως.

Τα μέτρα αυτά είχαν σαν αποτέλεσμα εξοικονόμηση 3 072,24 hm³ στην περίοδο Ιούνιος 2015-Ιανουάριος 2017.

3.2.2.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΝΕΡΟΥ

Για την ανακύκλωση νερού δαπανήθηκαν \$694 924 000 για 57 συνολικά έργα ανακύκλωσης νερού.

3.2.2.4 ΜΕΙΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.

Για την μείωση των ενεργειακών αναγκών και εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου επενδύθηκαν \$56 000 000. Οι ενέργειες περιλάμβαναν έργα στα συστήματα ύδρευσης και άρδευσης καθώς και σε καινοτόμες τεχνολογίες σχετικές με το θέμα.

3.2.3 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Ξεκινώντας πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι η διαχείριση και οι πρακτικές ήταν σύμφωνες με την τρέχουσα βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι ήδη από το περιστατικό του 2007 - 2009 ακολουθήθηκαν τα 10 βήματα που αναφέραμε στο κεφάλαιο 3.1.

- 2010 δημιουργείται το California Drought Contingency Plan (CDCP).
- 2012 δημιουργία Climate Technical Advisory Group και σύνταξη του Climate Action Plan.
- 2013 δημιουργία Drought Task Force
- 2014 σύνταξη California Water Action Plan
- 2016 αναθεώρηση και βελτίωση του California Water Action Plan

Παράλληλα υπήρχε διαρκής παρακολούθηση της εξέλιξης του φαινομένου, σε επίπεδο απορροών, ύψους βροχόπτωσης και ισοδύναμου ύψους νερού χιονοκάλυψης. Επίσης υπήρχε μηνιαία αξιολόγηση του περιστατικού με την χρήση των δεικτών ξηρασίας.

Η δημοσίευση των Griffin and Anchukaitis που υποστήριζε ότι το περιστατικό βάσει του δείκτη PSDI είναι το σφοδρότερο των τελευταίων 1 200 ετών λόγω της χαμηλής βροχόπτωσης αλλά και των ασυνήθιστα υψηλών θερμοκρασιών. Η συγκεκριμένη δημοσίευση σε συνδυασμό με τους κύριους στόχους των σχεδίων (αναλύονται παρακάτω) έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην λήψη αποφάσεων. Είδαμε πως \$56 000 000 δαπανήθηκαν για την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (με στόχο την μείωση της θερμοκρασίας).

Η πόλη του Los Angeles, σε μια προσπάθεια αντιμετώπισης της ξηρασίας, τοποθέτησε 96 000 000 πλαστικά μαύρα σφαιρίδια στον ταμιευτήρα του Los Angeles με στόχο να περιορίσει την εξάτμιση του νερού με κόστος \$34 500 000. Το μέτρο αυτό δεν είχε πρακτικό αντίκτυπο, αφού στην περίοδο Αύγουστος 2015 – Μάρτιος 2017 απέτρεψε την εξάτμιση 1,7 hm³ (Los Angeles Power and Water, 2017).



Εικόνα 3-2: Οι περίφημες shade balls πάνω στον ταμιευτήρα του Los Angeles φωτογραφία από Gene Blevins (πηγή: National Geographic, ανάκτηση 2018)

Πέραν με την μικρή αποτελεσματικότητα του μέτρου, θα έπρεπε να εξετάσουμε τυχόν επιπτώσεις από την φθορά των πλαστικών σφαιριδίων σε μικρότερα κομμάτια και συγκεκριμένα σωματίδια ή ίνες. Είναι διαπιστωμένο ότι κάποια χημικά συστατικά μικρού μοριακού βάρους που περιέχονται στα πλαστικά προκαλούν διαταραχές στην έκκριση οιστρογόνων (estrogen activity, EA), με δυσμενής επιπτώσεις στην υγεία των εμβρύων και νεαρών ατόμων των θηλαστικών, με την πρόσληψη τους. Η μελέτη του Yang et al. (2011) απέδειξε ότι ακόμη και πολλά πλαστικά κακώς έχουν εγκριθεί ως κατάλληλα (χωρίς ουσίες (EA)), διότι αυτά δοκιμάζονται εργαστηριακά και με ένα διαλύτη και όχι σε πραγματικές συνθήκες και για συνδυασμό διαλυτών. Συμπερασματικά το μέτρο όχι μόνο ήταν αναποτελεσματικό για την ξηρασία, αλλά μπορεί να έχει και συνέπειες στην υγεία των κατοίκων του Los Angeles.

Οι διαχειριστικές πρακτικές ήταν σύμφωνες με τις αρχές και τους στόχους των σχεδίων που συντάχθηκαν. Το Climate Action Plan και το California Water Action Plan έχουν σαν στόχο την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου ως μέσο εξοικονόμησης νερού. Οι στόχοι έγιναν πράξεις με αυτά που αναφέραμε στο κεφ. 3.2.2.4. Το California Water Action Plan έχει τα δέκα σημεία που αναφέραμε στο κεφ. 3.2.1 από τα οποία το σημείο 6 (Να

αυξήσει την αποθήκευση νερού και να βελτιώσει την διαχείριση των υπόγειων νερών) είναι άξιο σχολιασμού. Το σχέδιο αναφέρει χαρακτηριστικά ότι «η αποθήκευση νερού συνίσταται από τα επιφανειακά ύδατα (ταμιευτήρες) και υπόγεια ύδατα (υπόγειοι υδροφορείς). Η κατασκευή ταμιευτήρων είναι έργο δύσκολο λόγω κόστους αλλά και περιβαλλοντικών περιορισμών, ενώ η διαχείριση των υπόγειων υδροφορέων ως αποθηκευτικό μέσο είναι επίσης δύσκολη επειδή οι περισσότεροι από αυτούς είτε έχουν προβλήματα υφαλμύρισης είτε προβλήματα ρύπανσης από την ανθρώπινη δραστηριότητα.» Σε συνέχεια για την συγκεκριμένη ενότητα αναπτύσσονται επτά καίρια σημεία:

- α. Να παρέχονται επαρκή δεδομένα για την βιώσιμη διαχείριση των υπόγειων υδροφορέων..*
- β. Υποστήριξη για επιδότηση συνεργασιών για έργα ταμίευσης νερού*
- γ. Αναβάθμιση του υφιστάμενου California Groundwater Plan.*
- δ. Αναβάθμιση της βιώσιμης διαχείρισης των υπόγειων υδροφορέων.*
- ε. Υποστήριξη της εκμετάλλευσης των υπόγειων υδροφορέων.*
- στ. Αύξηση του εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων σε όλη την πολιτεία.*
- ζ. Επιτάχυνση του καθαρισμού των ρυπασμένων υπόγειων υδροφορέων και αποτροπή της εκ νέου ρύπανσης αυτών.*

Τα σημεία αυτά βλέπουμε ότι επικεντρώνονται στους υπόγειους υδροφορείς όπου έγιναν τα έργα που αναφέρονται στο κεφάλαιο 3.2.2.1, ενώ δεν υπάρχει πλάνο για κατασκευή νέων ταμιευτήρων. Συνέπεια αυτού τα 2,7 δις \$ για έργα ταμίευσης της Proposition 1 να μην αξιοποιηθούν. Τέλος πρέπει να επισημάνουμε ότι η ορθή διαχείριση και προστασία των υπόγειων υδροφορέων είναι από τα μόνιμα προβλήματα στην Καλιφόρνια (κεφ. 2.4.1).

Έγιναν κάποια έργα για την προστασία εισόδου θαλασσινού νερού στο δέλτα του Sacramento. Αυτή ενέργεια αφορά ένα μόνιμο πρόβλημα του συστήματος (κεφ. 2.4.2), που εντείνεται στις περιόδους ξηρασίας.

Τα έργα ανακύκλωσης νερού έγιναν ως προληπτικό μέτρο για να χρησιμοποιηθούν στο επόμενο επεισόδιο ξηρασίας.

Η ολοκληρωμένη τοπική διαχείριση υδατικών πόρων (IRWM), είναι ένα σχέδιο που περιλαμβάνεται στο California Water Plan Update 2013. Το IRWM έχει στόχο τον συντονισμό και την παρακολούθηση των τοπικών εταιριών νερού για την βελτιστοποίηση

της διαχείρισης υδατικών πόρων. Συνεπώς το μέτρο είναι μια στρατηγική στην διαχείριση υδατικών πόρων στην πολιτεία και όχι ένα μέτρο κατά της ξηρασίας.

Το μόνο μέτρο που εξοικονόμησε νερό ήταν αυτό του περιορισμού της κατανάλωσης κατά 25% στο νερό ύδρευσης. Βέβαια η επιβολή μέτρων έγινε μόνο στο νερό ύδρευσης και όχι σε αυτό της άρδευσης. Στο σημείο αυτό να υπενθυμίσουμε ότι το 80% του συνολικού νερού που χρησιμοποιείται στην πολιτεία είναι άρδευσης. Αυτή η διάκριση πέρα από την ανισοκατανομή των βαρών που έγινε προκάλεσε και προβλήματα. Στην Central Valley την περίοδο 2012-2016 η υπεράντληση έφτασε τα 40 km³ (Xiao et al., 2017). Ο συνδυασμός υπεράντλησης – υπερκαλλιέργειας επιδείνωσε τα προβλήματα στις περιοχές που έχουν σαν κύρια πηγή νερού τα υπόγεια ύδατα και δεν είναι συνδεδεμένα με τα κύρια υδραγωγεία της πολιτείας (κεφ. 2.4.1). Χαρακτηριστικό είναι ότι η εξυγίανση και ενίσχυση αυτών συστημάτων ύδρευσης χρηματοδοτήθηκε και από την Proposition 1 και από τα ομόλογα 1,2 δις δολαρίων που εκταμίευσε το State Water Board.

Συνοψίζοντας, παρότι η πολιτεία έχει μεγάλη εμπειρία από ξηρασίες, δεν μπορούμε να πούμε ότι τα μέτρα που εφαρμόστηκαν και οι πολιτικές που εξασκήθηκαν ήταν επιτυχημένα. Τα περισσότερα μέτρα και αποφάσεις που ελήφθησαν αφορούσαν την αντιμετώπιση διαχρονικών προβλημάτων του συστήματος και τα υπόλοιπα σε αμφίβολης αποτελεσματικότητας έργα. Τα βήματα για την διευθέτηση των χρόνιων ζητημάτων, με αφορμή το περιστατικό της ξηρασίας, είναι το μόνο θετικό στοιχείο που μπορούμε να διαγνώσουμε. Βέβαια ο χρόνος θα δείξει εάν οι κινήσεις αυτές είναι μέρος του υδρο-(παρα)-λογικού κύκλου (βλ .κεφ. 3.1).

Παράλληλα εγείρεται ένα κοινωνικοοικονομικό ζήτημα που αφορά την ανισοκατανομή των μέτρων κατά τις ξηρασίες μεταξύ ύδρευσης και άρδευσης. Μια εύλογη υπόθεση για το αίτιο της ανισοκατανομής αυτής είναι ότι την επιτρέπει νομικό καθεστώς για το νερό στην πολιτεία (βλ. κεφ.2.1.5).

Οι Lund et al. εστιάζουν στις οικονομικές επιπτώσεις της ξηρασίας και διατυπώνουν τα κάτωθι:

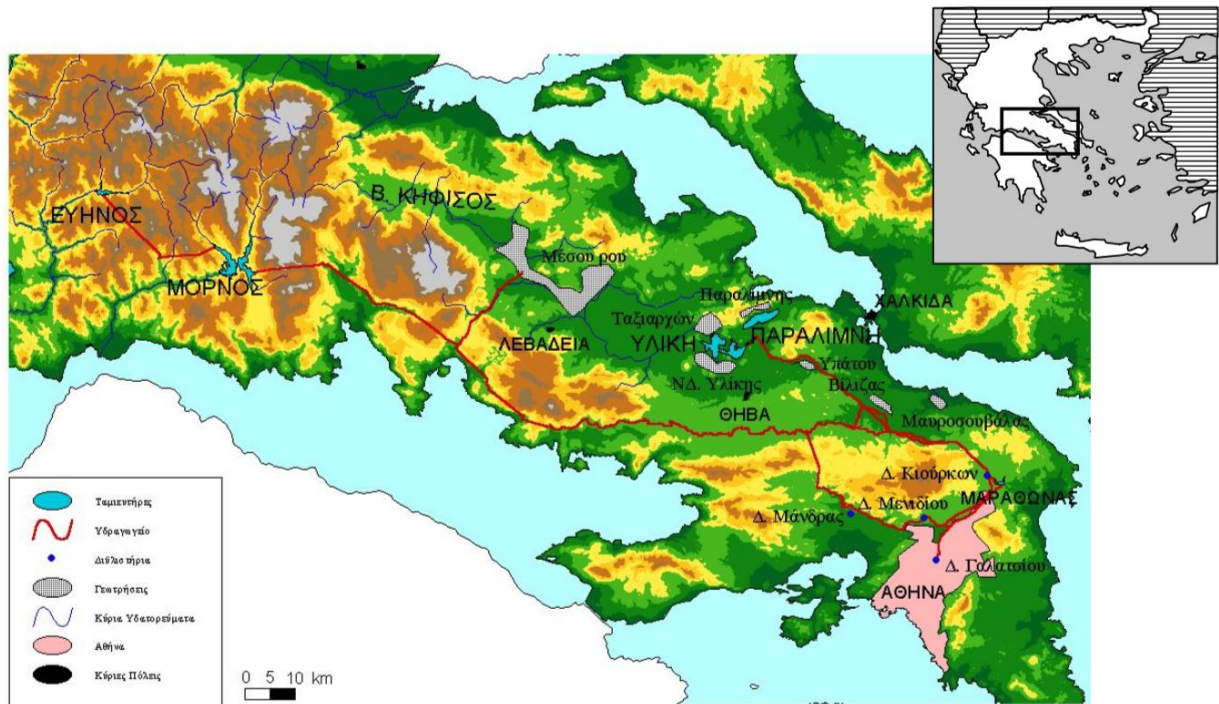
«...Water management in California was unusually effective for the 2012–2016 drought, with the exception of ecosystems and rural drinking water supplies...»

«...Η διαχείριση της ξηρασίας στην Καλιφόρνια ήταν απρόσμενα αποδοτική για την περίοδο 2012-2016, με εξαίρεση τα οικοσυστήματα και την ύδρευση αγροτικών περιοχών...» (Lund et al., 2018).

Η άποψη αυτή τεκμαίρεται από το γεγονός ότι η οικονομική ζημιά από το επεισόδιο ήταν της τάξεως των 10 δις δολαρίων ποσό λιγότερο του 1% του ΑΕΠ (κεφ. 2.1.4). Η οικονομική ζημιά μπορεί να μην ήταν σημαντική αλλά επιτυχία για την διαχείριση υδατικών πόρων δεν μπορεί να θεωρηθεί η αστοχία στο νερό ύδρευσης σε καιρό κρίσης.

3.3 ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ (1988-1993)

3.3.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ



Εικόνα 3-3: Γενική διάταξη του υδροδοτικού συστήματος των Αθηνών (πηγή: Xenos et al., 2002)

Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας αποτελεί ένα από τα πιο εκτεταμένα και πολύπλοκα υδατικά συστήματα της Ελλάδας. Εκτείνεται σε τρία υδατικά διαμερίσματα (Αττικής, Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας) αναπτυσσόμενο σε έκταση της τάξης των 4 000 km². Περιλαμβάνει επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους, τέσσερις ταμιευτήρες, γεωτρήσεις, υδραγωγεία και αντλιοστάσια. Η ολική χωρητικότητα του συστήματος είναι 1 400 hm³, με τους ταμιευτήρες του Μόρνου και της Υλικής να αποτελούν το 88,5% της χωρητικότητας.

Οι κύριοι ταμιευτήρες του συστήματος:

- Ευήνου μέσης ετήσιας απορροής 322 hm³ (προσωρινή έναρξη λειτουργίας 1995-1999, έναρξη λειτουργίας 2002))
- Μόρνου μέσης ετήσιας απορροής 319 hm³ (έναρξη λειτουργίας 1981)

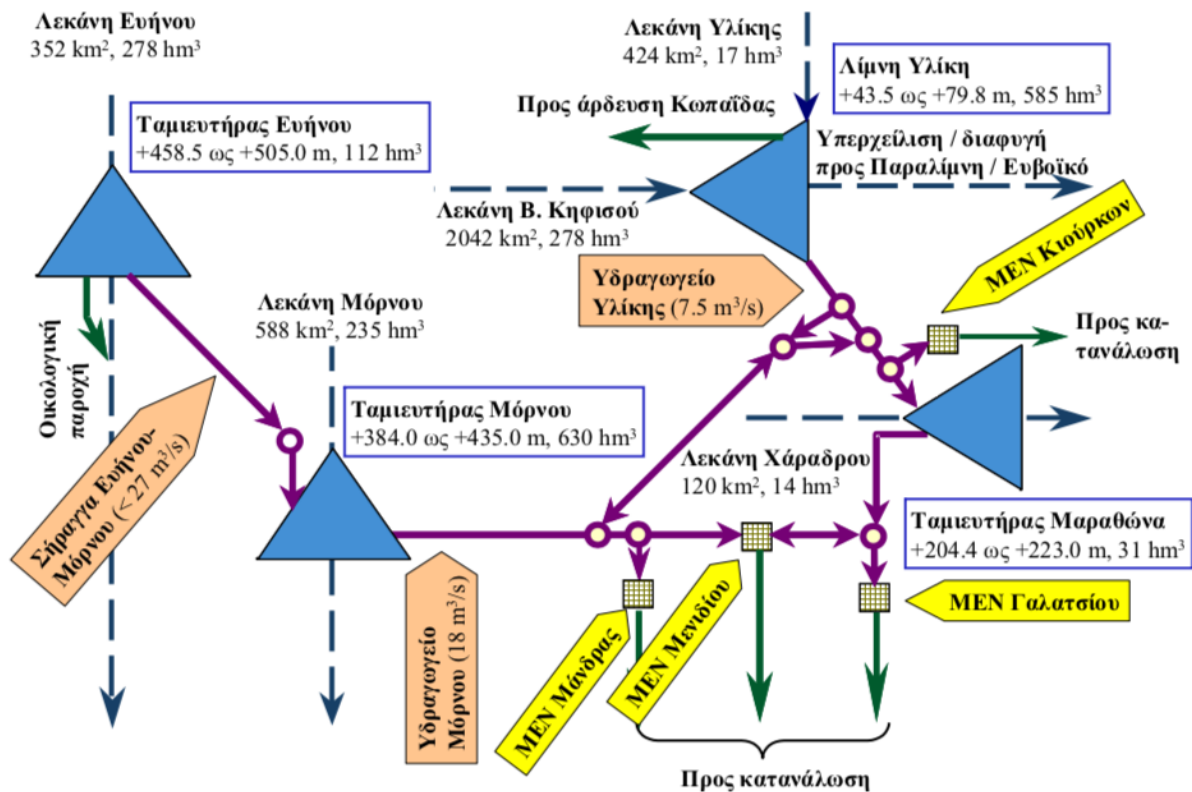
Οι δευτερεύοντες ταμιευτήρες του συστήματος:

- Υλικής μέσης ετήσιας απορροής 353 hm³ (έναρξη λειτουργίας 1956)
- Μαραθώνα μέσης ετήσιας απορροής 10 hm³ (έναρξη λειτουργίας 1929)

Οι υπόγειοι υδατικοί πόροι (γεωτρήσεις):

- Μέσου ρου Β. Κηφισού με ετήσια αντλητική δυνατότητα 136 hm^3 .
- Περιοχή Υλίκης με ετήσια αντλητική δυνατότητα 85 hm^3 .
- Βιλίζας με ετήσια αντλητική δυνατότητα 26 hm^3 .
- Μαυροσουβάλας με ετήσια αντλητική δυνατότητα 36 hm^3 .

Το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας εξυπηρετεί την ύδρευση της πόλης της Αθήνας αλλά και την άρδευση του Κωπαϊδικού πεδίου. Η άρδευση γίνεται από τους υδατικούς πόρους του Βοιωτικού Κηφισού – Υλίκης. Οι αντλήσεις από την Υλίκη έχουν ρυθμιστεί νομοθετικά στα 50 hm^3 .



Εικόνα 3-4: Σχηματική παρουσίαση του υδροδοτικού συστήματος των Αθηνών (πηγή : Μακρόπουλος, κ.α, 2010)

Το συνολικό μήκος όλων των υδραγωγείων (κύριων, ενωτικών, βοηθητικών) είναι $495,5 \text{ km}$. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των κύριων υδραγωγείων του συστήματος καθώς και των σημαντικών ενωτικών υδραγωγείων.

Τα τελευταία είναι πολύ σημαντικά για το σύστημα διότι :

- α. Συνδέουν τα κεντρικά υδραγωγεία και κατά συνέπεια τις αντίστοιχες πηγές υδροληψίας.
- β. Επιτρέπουν τη συντήρηση και τον έλεγχο των εγκαταστάσεων.
- γ. Επιτρέπουν την επιλογή εναλλακτικών τρόπων εκμετάλλευσης των πηγών υδροδότησης και των υδραγωγείων, ανάλογα με τις υδρολογικές συνθήκες ή τις απαιτήσεις της κατανάλωσης.

Υδραγωγεία	Διώρυγες (m)	Σιφόνες (m)	Σήραγγες (m)	Κλειστοί αγωγοί (m)	Σύνολο (m)
Κύρια Υδραγωγεία					
Μαραθώνα - Γαλατσίου			15 785	5 764	21 549
Σουλίου				11 070	11 070
Κακόςάλεσι	362	1 350	9 325	12 769	23 807
Υλίκης	23 385	7 500	3 000	3 800	37 685
Μόρνου	109 900	7 000	70 700		187 600
Εύηνου			29 000		29 000
Ενωτικά Υδραγωγεία					
Κιούρκα – Μενίδι				21 655	21 655
Μαραθώνα (Μόρνος – Βίλιζα)	5 720	2 680		9 450	17 850
Κρεμάδα - Κλείδι		2 500		2 850	5 350

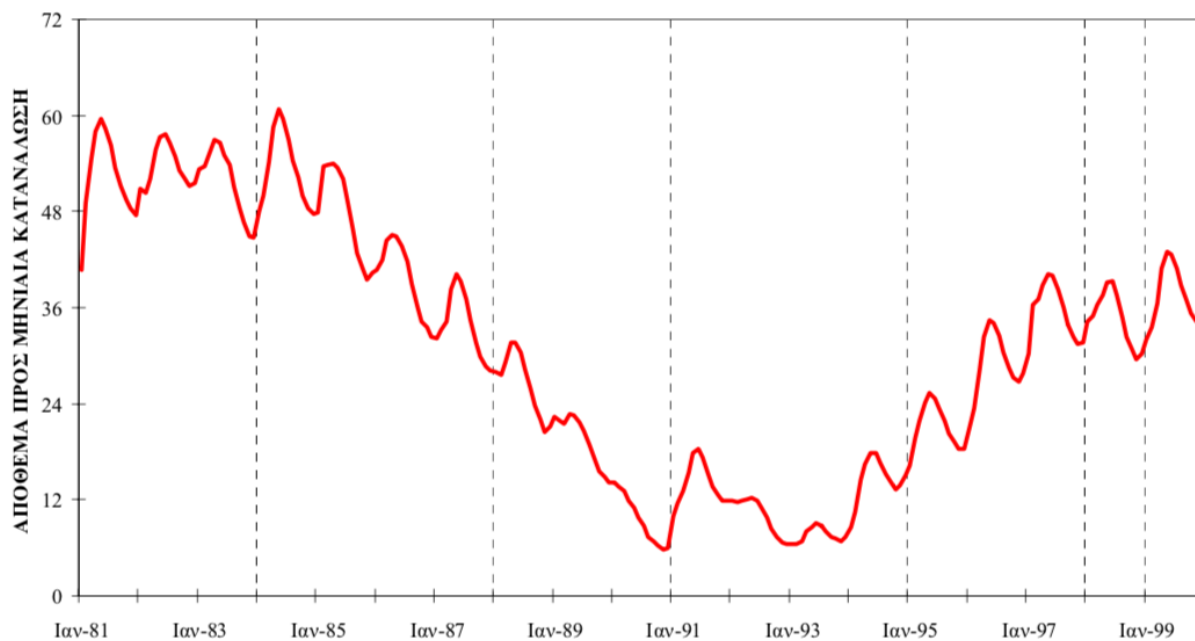
Πίνακας 3-19: Συνοπτικά στοιχεία κύριων υδραγωγείων (πηγή : Μακρόπουλος, κ.α, 2010)

3.3.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟΥ

Το 1981 ξεκινά η λειτουργία του υδραγωγείου του Μόρνου και για πρώτη φορά η Αθήνα έχει αφθονία αποθέματος. Η κατανάλωση νερού το έτος αυτό ήταν 282 hm^3 . Τα επόμενα έτη είναι αρκετά υγρά με το 1985 να έχουμε υπερχειλίση του φράγματος του Μόρνου, γεγονός που έδινε αίσθημα υδροδοτικής ασφάλειας. Η κατανάλωση όμως αυξάνει ταχύτατα φτάνοντας στην μεγαλύτερη για τα δεδομένα το 1989 με $385,06 \text{ hm}^3$. Παράλληλα τα υδρολογικά έτη 1987-1989 έχουμε μείωση της βροχόπτωσης αλλά και μεγαλύτερη μείωση των απορροών στον Βοιωτικό Κηφισό και Μόρνο, με ταυτόχρονη μείωση των αποθεμάτων Μόρνου – Υλίκης. Το 1990 με το απόθεμα των ταμιευτήρων να βρίσκεται σε ιστορικό χαμηλό 135 hm^3 , το οποίο ήταν αρκετό μόλις για διάστημα μικρότερο του έτους. Κατά συνέπεια εφαρμόζονται μέτρα για την μείωση της κατανάλωσης αλλά και διερεύνηση τεχνικών λύσεων για την εξασφάλιση των απαραίτητων υδατικών πόρων (θα παρουσιαστούν αναλυτικά σε επόμενη ενότητα).

Τα έτη που ακολούθησαν 1991-1994 ήταν επίσης ξηρά γεγονός που επανάφερε την δραματική κατάσταση του 1990. Το απόθεμα των ταμιευτήρων βρίσκεται στα 141 hm^3 . Η συνέχεια της ξηρασίας επιβάλλει νέα αύξηση της τιμολογιακής πολιτικής και επίσπευση των τεχνικών λύσεων για την εξασφάλιση των απαραίτητων υδατικών πόρων. Μάλιστα είχαν κατασκευαστεί πλωτά αντλιοστάσια για την υδροληψία από τον νεκρό όγκο του ταμιευτήρα του Μόρνου. Τα έτη 1994-1995 που ακολούθησαν ήταν ιδιαιτέρως υγρά. Παράλληλα τίθεται σε λειτουργία ο ταμιευτήρας του Εύηνου και λήγει ο συναγερμός της ξηρασίας.

Στην εικόνα 3-3 απεικονίζεται διάγραμμα αυτό παρουσιάζεται για κάθε μήνα το πηλίκο του αποθέματος προς το μέσο όρο κατανάλωσης των τελευταίων 12 μηνών. Το πηλίκο εκφράζει τον αριθμό των μηνών που μπορεί το υπάρχον απόθεμα να καλύψει την ζήτηση. Παρατηρούμε από το διάγραμμα αυτό την κρισιμότητα της κατάστασης για τα έτη 1991 και 1993 όπου τα αποθέματα έφταναν για 6 μήνες.



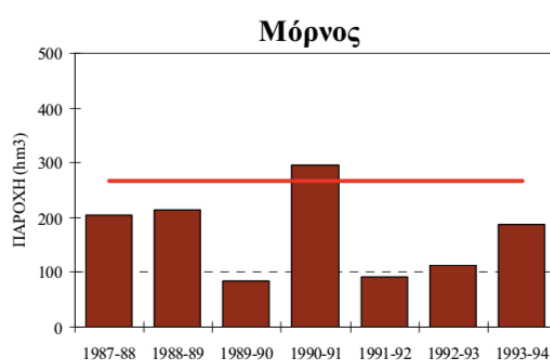
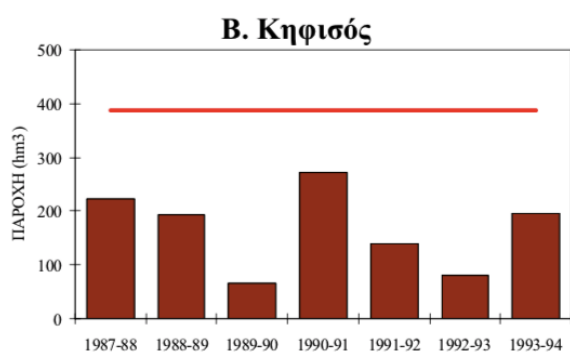
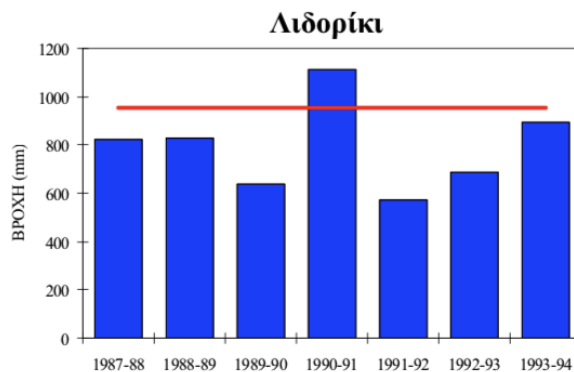
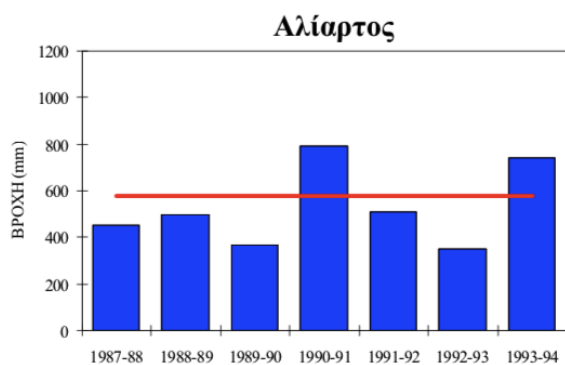
Εικόνα 3–5: Χρονική εξέλιξη ανηγμένου αποθέματος (αριθμός μηνών που μπορεί να καλύψει την κατανάλωση).
(πηγή: Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007)

3.3.2.1 ΤΟ ΠΑΡΑΔΟΞΟ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟΥ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ

Στην επταετία του 1987-1994 έχουμε ένα υδρολογικό παράδοξο. Μελετώντας το ύψος βροχόπτωσης και τις απορροές στον Βοιωτικό Κηφισό και Μόρνο διαπιστώνουμε ότι :

- Οι βροχοπτώσεις είναι στο 92% και 83% αντίστοιχα.
- Οι απορροές είναι στο 43% και 64% αντίστοιχα.

Κατά συνέπεια έχοντας μια διαφορά στην βροχόπτωση μεσοσταθμικά για την επταετία 7% και 17% έχουμε μια διαφορά στις απορροές 57% και 46% αντίστοιχα.



Εικόνα 3–6: Χρονική εξέλιξη των ετήσιων βροχοπτώσεων α) Αλίαρτος, β) Λιδορίκι, αλλά και των απορροών γ) Βοιωτικός Κηφισός, δ) Μόρνος κατά την επταετία 1987-1994. Με συνεχείς γραμμές οι μέσες ετήσιες τιμές (πηγή : Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007)

	Υδρολογική λεκάνη			
	Βοιωτικού Κηφισού		Μόρνου	
	Βροχή (Αλίαρτος)	Απορροή	Βροχή (Λιδορίκι)	Απορροή
1987-88	79%	58%	86%	77%
1988-89	86%	50%	87%	80%
1989-90	63%	17%	67%	32%
1990-91	138%	70%	117%	111%
1991-92	89%	36%	60%	34%
1992-93	61%	21%	72%	43%
1993-94	129%	51%	94%	71%
Μέση τιμή	92%	43%	83%	64%

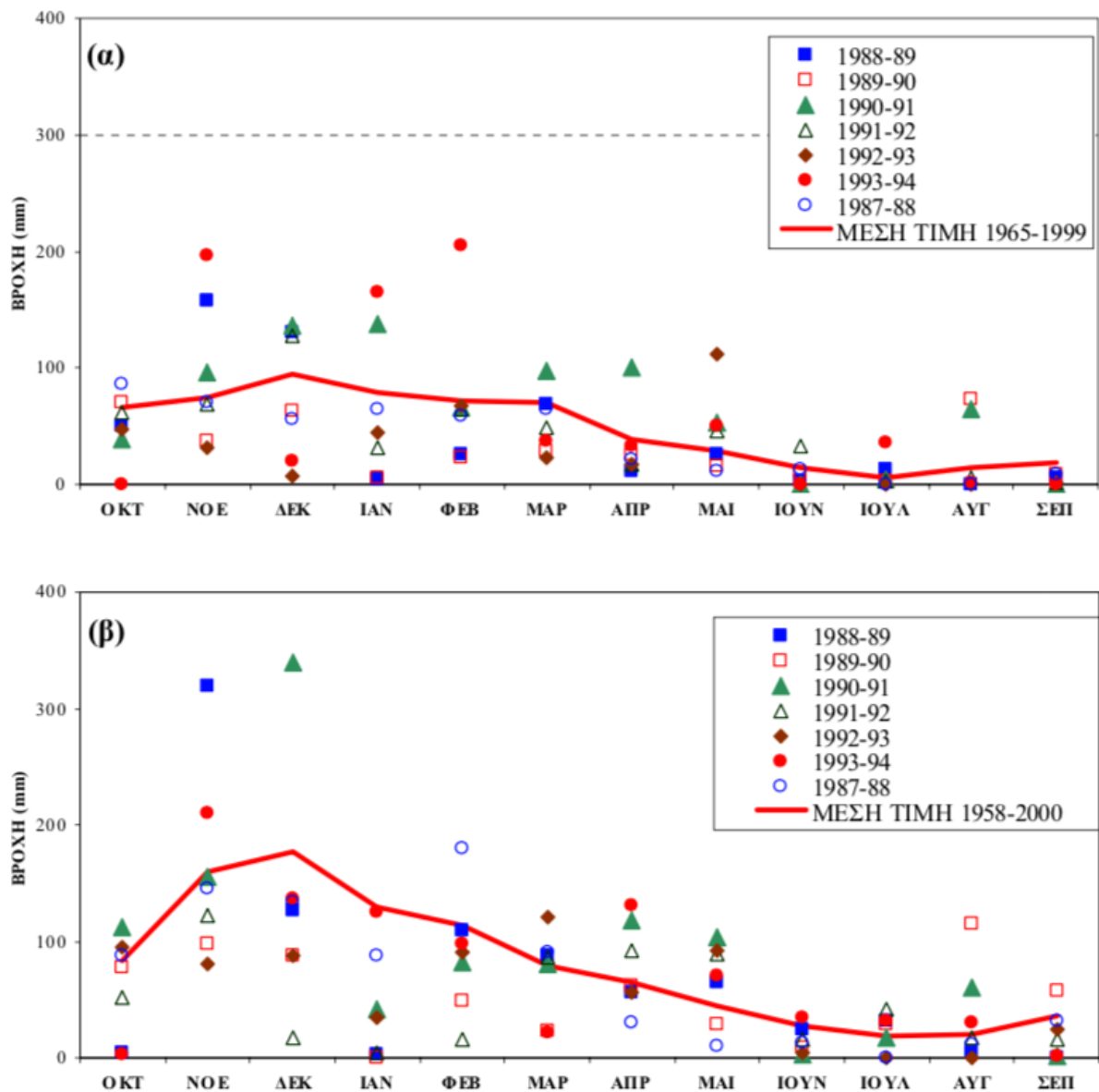
Πίνακας 3-20: Ποσοστά απορροής και βροχόπτωσης σε σχέση με τον ιστορικό μέσο (πηγή: Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007)

Σε συνέχεια, παρατηρώντας την χρονική εξέλιξη των βροχοπτώσεων – απορροών για τις δύο λεκάνες παρατηρούμε ότι η χρονική κατανομή της βροχής μέσα στην επταετία είναι αισθητά διαφοροποιημένη σε σχέση με το μέσο καθεστώς της. Συγκεκριμένα :

- Το μήνα Ιανουάριο έχουμε σχεδόν μηδενικές βροχοπτώσεις κατά τα έτη 1988 - 99 & 1989 – 90 και στις δύο λεκάνες. Τα υπόλοιπα έτη είναι αρκετά μειωμένες.
- Το μήνα Φεβρουάριο οι βροχοπτώσεις και στις δύο λεκάνες είναι αρκετά μικρότερες από τις αναμενόμενες και για τα επτά έτη (εξαιρείται το 1994 για την Αλίαρτο και το 1988 για το Λιδορίκι).
- Τους μήνες Οκτώβριο, Δεκέμβριο και Μάρτιο στα περισσότερα υδρολογικά έτη και στις δύο λεκάνες οι βροχοπτώσεις είναι μικρότερες από τις αναμενόμενες.
- Τους μήνες Μάιο, Ιούλιο και Αύγουστο οι βροχοπτώσεις είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες στα περισσότερα υδρολογικά έτη και στις δύο λεκάνες.

Το γεγονός αυτό αποδίδεται στους ιδιαίτερα πολύπλοκους και ευαίσθητους (ως προς την κατανομή της βροχής) μηχανισμούς μετατροπής της βροχόπτωσης σε επιφανειακή απορροή. Συγκεκριμένα ο μετασχηματισμός της βροχόπτωσης σε απορροή είναι μη γραμμικός και επηρεάζεται από παράγοντες, όπως η δίαυτα της εδαφικής υγρασίας, η συσσώρευση/τήξη χιονιού, η εξατμοδιαπνοή και η κατάσταση των υπογείων υδροφόρων. Έτσι είναι δυνατό, η μείωση της χειμερινής βροχόπτωσης να επιφέρει μεγαλύτερη μείωση της συνολικής απορροής (Ναλμπάντης κ.α, 1994).

Στην εικόνα 3-5 απεικονίζονται γραφήματα με την εικόνα των μηνιαίων βροχοπτώσεων σε σχέση με τον ιστορικό μέσο για την Αλίαρτο και το Λιδορίκι.



Εικόνα 3–7: Συγκριτική εικόνα των μηνιαίων βροχοπτώσεων της επταετίας σε σχέση με τον ιστορικό μέσο για την α) Αλιάρτο και β) Λιδορίκι (πηγή: Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007).

3.3.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΟΥ

Η αντιμετώπιση του περιστατικού της ξηρασίας τα έτη 1988-1993 κινήθηκαν σε δύο άξονες. Ο πρώτος αφορούσε την εξοικονόμηση νερού και ο δεύτερος στην εύρεση τεχνικών λύσεων για την εξασφάλιση νέων υδατικών πόρων.

Η εξοικονόμηση νερού επιτεύχθηκε με τις παρακάτω δράσεις :

- Μείωση του χρόνου αποκατάστασης των διαρροών του δικτύου ύδρευσης με πύκνωση των συνεργείων της Ε.ΥΔ.Α.Π. Στόχος ήταν η ελαχιστοποίηση των απωλειών.
- Εισαγωγή νέων τεχνολογιών για εξοικονόμηση νερού (καζανάκια με επιλογή, βρύσες με αυτόματο κλείσιμο, αποδοτικότερα ποτιστικά συστήματα κήπων, πλυντήρια μικρής κατανάλωσης).
- Απαγόρευση χρησιμοποίησης νερού της Ε.ΥΔ.Α.Π για πότισμα δημόσιων και ιδιωτικών κήπων, κτημάτων και γενικώς χώρων πρασίνου, καθώς και για το γέμισμα δημοσίων και ιδιωτικών κολυμβητικών δεξαμενών, με εξαίρεση τις κολυμβητικές δεξαμενές και χλοοτάπητες αγωνιστικών χώρων δημοσίου ενδιαφέροντος για τις οποίες αποφασίζει κατά περίπτωση ο αρμόδιος Υπουργός. Σε περίπτωση παραβάσεων διακόπτεται η παροχή νερού. (Ν.2118/1993)
- Απαγόρευση του πλυσίματος των αυτοκινήτων, πεζοδρομίων και ανάλογων επιφανειών με χρήση σωλήνων ποτίσματος (λάστιχο).

Σε περίπτωση παράβασης για τις δύο αυτές απαγορεύσεις η ποινή ήταν διακοπή της παροχής νερού από την Ε.ΥΔ.Α.Π. για 2 έως 10 ημέρες και πρόστιμο 10 000 έως 100 000 δρχ. Σε περίπτωση υποτροπής οι ποινές διπλασιάζονταν. (Ν.2118/1993)

- Υποχρεωτική μείωση κατανάλωσης για τα δημόσια και δημοτικά καταστήματα, σχολεία και οργανισμοί κοινής ωφέλειας κατά 30%.
Για την υπέρβαση των ορίων υπήρχε αυξημένη ειδική τιμή νερού ίση με 2 500 δρχ./m³. (Ν.2118/1993)
- Υποχρεωτική μείωση της κατανάλωσης για τις οικιακές καταναλώσεις η οποία είχε ως εξής :
 1. Για το μέρος της τριμηνιαίας κατανάλωσης έως 15 m³ κανένας περιορισμός.
 2. Για το μέρος της τριμηνιαίας κατανάλωσης από 16 έως 50 m³ μείωση 20%

3. Για το μέρος της τριμηνιαίας κατανάλωση από 51 m³ και άνω μείωση 40%
4. Ανώτατο όριο τριμηνιαίας κατανάλωσης τα 100 m³

Για την υπέρβαση των ορίων υπήρχε αυξημένη ειδική τιμή νερού ίση με 2 500 δραχμ/m³. Εάν η υπέρβαση ήταν σε ποσοστό άνω του 15% των ορίων η Ε.ΥΔ.Α.Π. είχε το δικαίωμα διακοπής από 5 έως 15 ημέρες. (Ν.2118/1993)

- Ευαισθητοποίηση της κοινωνίας με ραδιοφωνικά και τηλεοπτικά spots αλλά και με ενημερωτικά φυλλάδια.
- Εφαρμογή αυξημένης τιμολογιακής πολιτικής με κλίμακες. Στον παρακάτω πίνακα αποτυπώνεται η τιμολογιακή πολιτική για όλη την περίοδο του επεισοδίου.

Ημερομηνία	Κατηγορία κατανάλωσης (m ³)									
	10	15	20	30	40	50	60	81	105	200
01/07/1975	202	158	141	134	131	129	128	126	125	124
01/07/1982	133	148	197	234	251	261	268	277	282	291
01/07/1985	0	0	5	8	9	10	11	11	11	12
01/07/1986	24	22	13	7	5	4	3	2	2	1
01/07/1988	21	19	5	12	15	17	18	19	20	21
01/01/1990	-8	-11	-13	6	18	25	29	34	37	41
01/05/1990	159	176	184	202	237	265	281	298	309	323
01/01/1991	-20	-20	-20	-8	-5	-3	-2	-2	-1	-1
01/01/1992	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
01/07/1992	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
01/12/1995	15	15	15	18	19	19	20	20	20	20

Πίνακας 3-21: Ποσοστό(%) μεταβολής της τιμής νερού για διάφορες κατηγορίες κατανάλωσης (πηγή :Ε.ΥΔ.Α.Π, 2000)

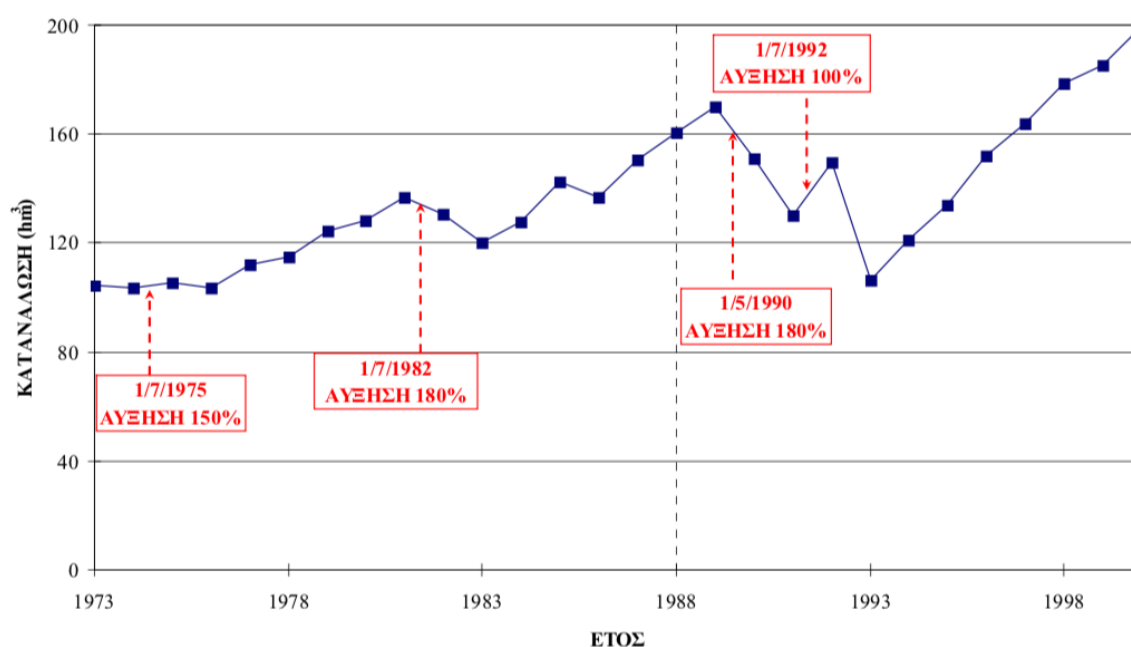
Οι τεχνικές λύσεις που προτάθηκαν – υλοποιήθηκαν ήταν οι ακόλουθες:

- Άντληση νερού από γειτονικούς υπόγειους υδροφορείς με την δημιουργία νέων γεωτρήσεων.
- Κατασκευή πλωτών αντλιοστασίων για τους δύο ταμιευτήρες με στόχο την εκμετάλλευση του νεκρού όγκου τους.
- Μεταφορά νερού με δεξαμενόπλοια (δεν υλοποιήθηκε).
- Ενίσχυση της φυσικής βροχής στην λεκάνη του Μόρνου (με την τεχνική της σποράς νεφών).
- Μεταφορά νερού μέσω σύνδεσης της Τριχωνίδας με τον Μόρνο (δεν υλοποιήθηκε).
- Εντατικοποίηση των εργασιών για την κατασκευή του ταμιευτήρα Εύηνου.

3.3.4 ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Αν και δεν υπήρχε μεγάλη εμπειρία στην διαχείριση ενός τέτοιου πολυετούς περιστατικού ξηρασίας οι πρακτικές που ακολουθήθηκαν ήταν αρκετά αποτελεσματικές. Βέβαια δύο συγκεκριμένες δράσεις έπαιξαν καθοριστικό ρόλο για να ανταπεξέλθει το σύστημα στο περιστατικό.

Το πρώτο και βασικότερο είναι η επιβολή μιας αυξημένης τιμολογιακής πολιτικής. Το μέτρο εφαρμόστηκε σε συνδυασμό με την ενημέρωση ευαισθητοποίηση του κοινού. Στο παρακάτω γράφημα είναι φανερή η επίδραση που είχε η πολιτική τιμολόγησης του νερού στην κατανάλωση νερού της Αθήνας τα τελευταία 30 χρόνια.

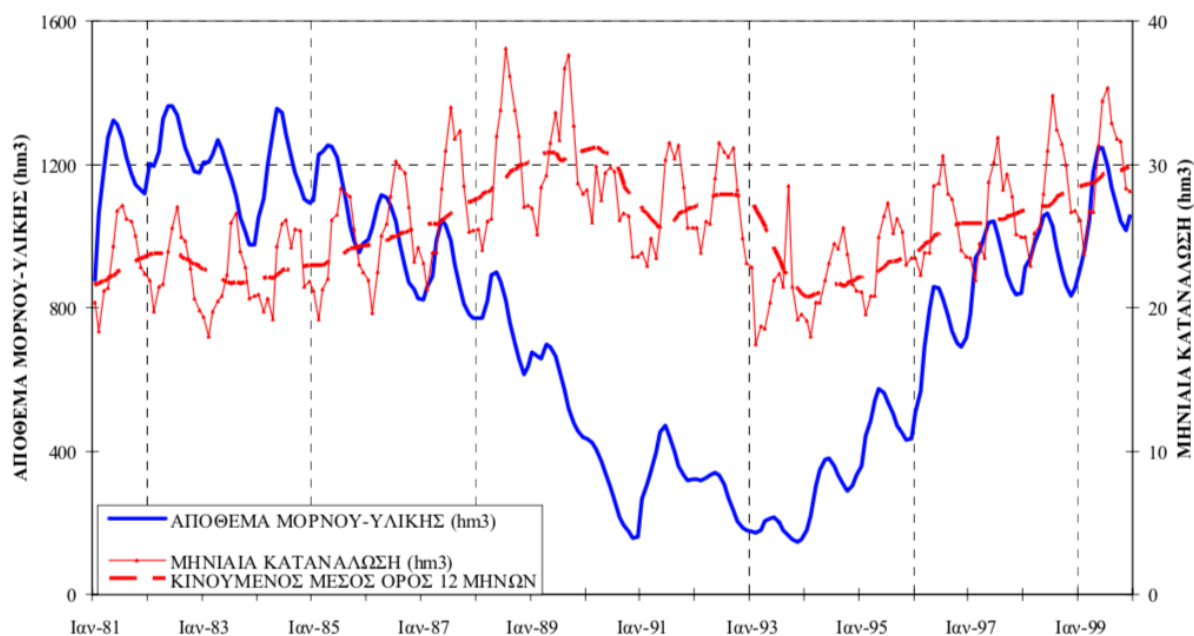


Εικόνα 3–8: Επίδραση της τιμής του νερού στην κατανάλωση της πόλης των Αθηνών (πηγή : Κουτσογιάννης κ.α, 2003)

Η κλιμακωτή αυτή τιμολόγηση είναι συμβατή με το γνώμονα των «Αρχών Νερού του Δουβλίνου» (Νερό και Περιβάλλον, Δουβλίνο 1992) που χαρακτηρίζει το νερό ως «ζωτικό, θεμελιώδες ανθρώπινο δικαίωμα και όχι εμπορικό αγαθό που υπόκειται στους κανόνες της αγοράς.»

Βέβαια, στο ίδιο γράφημα φαίνεται ότι με το πέρας της κρίσης της ξηρασίας, η κατανάλωση αυξάνεται ραγδαία, γρήγορα φτάνει τις καταναλώσεις προ κρίσης και τις ξεπερνά.

Η απόκριση των ταμιευτήρων μετά το πέρας του περιστατικού είναι αργή. Όπως φαίνεται στο γράφημα της εικόνας 3-7, αν και με την λήξη του επεισοδίου φαίνεται τα αποθέματα να αναπληρώνονται μόνο η εκτροπή νερού από τον Εύηνο το 1995 φέρνει ουσιαστική αναπλήρωση των αποθεμάτων.



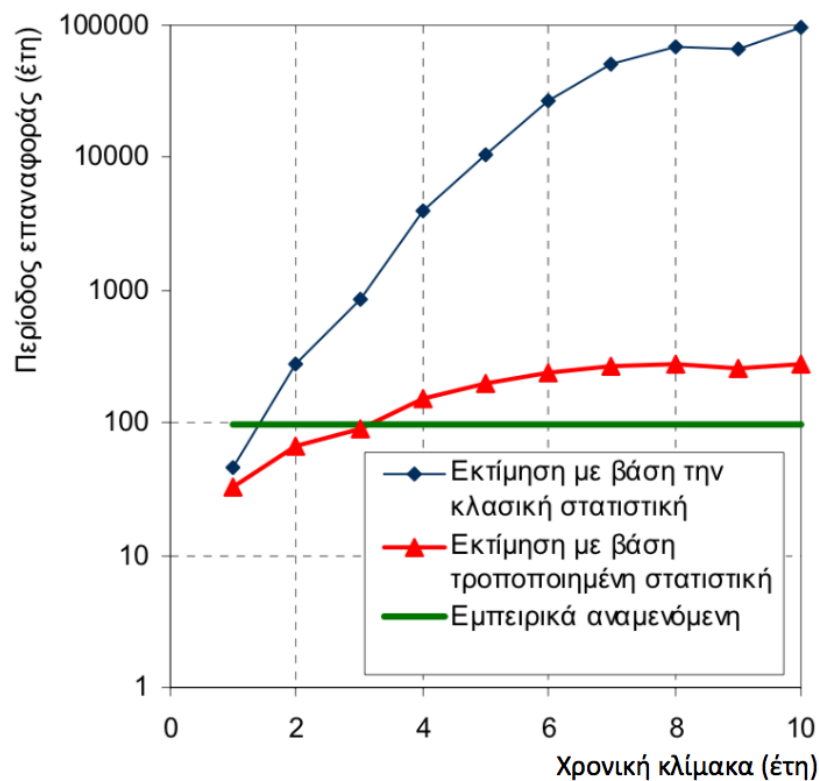
Εικόνα 3-9: Χρονική εξέλιξη αποθεμάτων ταμιευτήρων και κατανάλωσης (πηγή: Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007)

Με την εμπειρία του περιστατικού της ξηρασίας παράλληλα με την αυξητική τάση της κατανάλωσης η Ε.ΥΔ.Α.Π σε συνεργασία με τον Τομέα Υδατικών Πόρων του Ε.Μ.Π υλοποίησε ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) με σκοπό τη διαχείριση υδατικών της πόρων και τον καθορισμό λεπτομερών κανόνων λειτουργίας του υδροσυστήματος με σκοπό τη βελτιστοποίηση των απολήψεων με παράλληλη διατήρηση της ασφάλειας του συστήματος (Koutsoyiannis et al., 2003). Η λογική λειτουργίας του συστήματος αυτού είναι πιθανοτική και θεωρείται ανεκτή μια αστοχία στα 100 χρόνια υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

Η καινοτομία του ΣΥΑ έγκειται στην εγκατάλειψη των κλασικών μεθόδων στατιστικής και χρήση στοχαστικών μεθόδων. Οι μέθοδοι αυτές λαμβάνουν υπ' όψιν και την εμμονή που είναι η πλέον χαρακτηριστική ιδιότητα της ξηρασίας (βλ. κεφ. 1.3.5). Η εμμονή της ξηρασίας μεταφράζεται στις στοχαστικές μεθόδους ως η τάση των γεωφυσικών διεργασιών να ομαδοποιούνται στο χρόνο. Η τάση αυτή ονομάζεται φαινόμενο Hurst – φαινόμενο Ιωσήφ –

δυναμική Hurst – Kolmogorov (Hurst, 1951 , Mandelbrot, 1977, Koutsoyiannis, 2002, 2003, 2010, 2011).

Για να δείξουμε την σημασία των στοχαστικών μεθόδων, χρησιμοποιούμε το ακόλουθο παράδειγμα με στοιχεία από τον Βοιωτικό Κηφισό για την περίπτωση της ξηρασίας στην Αθήνα.



Εικόνα 3–10: Περίοδοι επαναφοράς της ελάχιστης απορροής του Βοιωτικού Κηφισού για χρονικές κλίμακες 1-10 ετών (πηγή: Κουτσογιάννης και Μαμάσης, 2007)

Έχοντας ένα διαθέσιμο δείγμα μετρήσεων 100 ετών, εμπειρικά περιμένουμε η ελάχιστη ετήσια ξηρασία να έχει περίοδο επαναφοράς 100 ετών. Όμως, αν χρησιμοποιήσουμε κλασική στατιστική, όπως προχωρούμε στις χρονικές κλίμακες η περίοδος επαναφοράς αυξάνει σημαντικά και φτάνει τα 100 000 χρόνια σε κλίμακα δεκαετίας, πράγμα που σημαίνει πιθανότητα 1 στις 100 000 δηλαδή εξαιρετικά απίθανη. Με την εισαγωγή της έννοιας της εμμονής και χρήση των στοχαστικών μεθόδων, η πιθανότητα να συμβεί η συγκεκριμένη ξηρασία είναι πολύ διαφορετική. Η περίοδος επαναφοράς πέφτει κάτω από 300 χρόνια με την ξηρασία να μην είναι πια εξαιρετικά απίθανη και θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στην κατάρτιση μακροχρόνιας διαχειριστικής πολιτικής.

4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην μελέτη μας κάνοντας την βιβλιογραφική διερεύνηση για το φαινόμενο της ξηρασίας διαπιστώσαμε ότι δεν υπάρχει ένας ενιαία αποδεκτός ορισμός. Σε συνέχεια αυτού η επιστημονική κοινότητα καθιέρωσε τους τύπους ξηρασίας, ανέπτυξε τους δείκτες ξηρασίας και βάσει των τύπων και των δεικτών κατάρτισε μεθοδολογίες διαχείρισης και αντιμετώπισης της ξηρασίας.

Οι κύριες πρακτικές διαχείρισης των περιστατικών συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα

Χαρακτήρας Μέτρου	Καλιφόρνια	Αθήνα
Αποθήκευση νερού	Διατέθηκαν \$2,7 δις τα οποία δεν απορροφήθηκαν	Ταμειυτήρας Εύηνου κόστος 213 883 630 €
Εξοικονόμηση νερού	Οριζόντια μείωση της κατανάλωσης κατά 25% μόνο για την ύδρευση. Μέτρα κατά της σπατάλης νερού.	Κλιμακωτή μείωση της κατανάλωσης στο νερό ύδρευσης και απαγόρευση της άρδευσης. Μέτρα κατά της σπατάλης νερού
Πρόληψη έναντι ξηρασίας.	Κατάρτιση σχεδίων IRWM, SGMA, έργα ανακύκλωσης νερού.	Δημιουργία του Σ.Υ.Α για το σύστημα της Αθήνας.
Ανθρωπιστική βοήθεια – ανακούφιση πληγέντων από το επεισόδιο.	\$1,2 δις για την εξυγίανση ρυπασμένων συστημάτων ύδρευσης που βασίζονταν σε υπόγειους υδροφορείς και άλλες πρακτικές.	Δεν απαιτήθηκε.

Πίνακας 4-1: Συνοπτικός πίνακας διαχειριστικών πρακτικών

Επιλέξαμε τα δύο παραδείγματα περιστατικών της ξηρασίας για έναν βασικό λόγο: το διαφορετικό υπόβαθρο στην λήψη αποφάσεων.

Στην περίπτωση της Καλιφόρνιας η αντιμετώπιση διαχείριση του φαινομένου έγινε σύμφωνα με την τρέχουσα βιβλιογραφία και ήταν σύμφωνη με όλα τα διαχειριστικά πλάνα που συντάχθηκαν (βλ κεφ 3.2.3).

Στον αντίποδα, η περίπτωση της Αθήνας, δεν αντιμετωπίστηκε με πιστή χρήση της βιβλιογραφίας, ούτε της χρήσης δεικτών ξηρασίας. Οι μηχανικοί που διαχειρίστηκαν το περιστατικό λειτούργησαν με γνώμονα την εξασφάλιση υδατικών πόρων για την ύδρευση στην πρωτεύουσα και σε συνέχεια να διασφαλίσουν ότι η Αθήνα δεν θα ξαναέρθει στην ίδια δεινή θέση που βρέθηκε το 1990 και 1993.

Όπως σχολιάσαμε τα μέτρα στην πολιτεία της Καλιφόρνια αφορούσαν κυρίως διαχρονικά της προβλήματα και κάποια άλλα μέτρα ήταν αμφιβόλου αποτελεσματικότητας. Παρόλα αυτά ήταν σύμφωνα με την τρέχουσα βιβλιογραφία. Η χρήση των δεικτών στην συγκεκριμένη περίπτωση οδήγησε στο λανθασμένο συμπέρασμα ότι η κρίσιμη παράμετρος στο συγκεκριμένο περιστατικό ήταν η αύξηση της θερμοκρασίας. Από το συμπέρασμα αυτό απόρροια ήταν η σειρά μέτρων για μείωση εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Εάν ελέγξουμε τις διαχειριστικές πρακτικές μια προς μια με τον ορισμό που προτείνεται, διαπιστώνουμε ότι δεν επαρκούν μιας και λίγες επηρεάζουν θετικά την παρουσία γλυκού νερού στην περιοχή.

Σε αντιδιαστολή οι πρακτικές τις Αθήνας είναι σύμφωνες με την έννοια της ξηρασίας και στο Σ.Υ.Α που αναπτύχθηκε λαμβάνει υπόψιν όλα τα χαρακτηριστικά της ξηρασίας συμπεριλαμβανομένου και αυτού της εμμονής, πράγμα που δεν κάνουν οι δείκτες της ξηρασίας.

Τέλος μέσω των παρατηρήσεων που κάναμε για τα δύο παραδείγματα προτείνουμε την χρήση αυτής της έννοιας της ξηρασίας για τον έλεγχο του διαχειριστικού σχεδίου αλλά και την χρήση των στοχαστικών μεθόδων και του φαινομένου Hurst στην μελέτη της ξηρασίας και στην κατάρτιση μακροπρόθεσμου επιχειρησιακού σχεδίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- National Drought Management Policy Guidelines: A Template for Action.* (2014). World Meteorological Organization (WMO).
- ΕΥΔΑΠ. (2000). *ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΔΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ – ΕΤΟΣ 2000-2001*. ΕΥΔΑΠ.
- Νόμος 2118/1993 (ΦΕΚ 23/Α/4-3-1993). (1993).
- Μαμάσης, Ν. (1997). *Ανάλυση βροχοπτώσεων κατα τύπο καιρού*. Διδακτορική διατριβή, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων έργων - ΕΜΠ.
- Μαμάσης, Ν., & Ευστρατιάδης, Α. (2012). *Τεχνική έκθεση για το έργο "Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής Πελοποννήσου, Βόρειας Πελοποννήσου και Ανατολικής Πελοποννήσου"*.
- Κωτσοβίνος, Ν., & Αγγελίδης, Π. (2009). *Η Περιβαλλοντική Σημασία του Δείκτη Ξηρασίας SPI – Προτάσεις Εναλλακτικού Στατιστικού Υπολογισμού του*. (Σ. Γιαννόπουλος, Επιμ.) ΥΔΡΟΓΑΙΑ.
- Ναλμπάντης, Ι., Μαμάσης, Ν., Κουτσογιάννης, Δ., Μπαλτάς, Ε., Αφτιας, Μ., & Μιμίκου, Μ. (1994). *Υδρολογικά χαρακτηριστικά της λειψυδρίας, Πρακτικά της ημερίδας : Το υδροδοτικό πρόβλημα της Αθήνας*. Αθήνα: Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μακρόπουλος, Χ., Ευστρατιάδης, Α., & Κουκουβίνος, Α. (2010). *Εκτίμηση του χρηματοοικονομικού κόστους και προτάσεις ορθολογικής διαχείρισης του υδροσυστήματος*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κουτσογιάννης, Δ., & Μαμάσης, Ν. (2007). *ΞΗΡΑΣΙΑ: ΦΥΣΙΚΕΣ, ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ - ΤΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ*. Gutenberg.
- Κουτσογιάννης, Δ., & Ξανθόπουλος, Θ. (1999). *Τεχνική Υδρολογία*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Καραμπουρνιώτης, Κ. (2012). *Επισκόπηση Δεικτών Ξηρασίας: Εφαρμογή του Δείκτη Palmer στον Ελληνικό Χώρο*. Αθήνα: Διδακτορική διατριβή - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- A History of the Municipal Water Department & Hetch Hetchy System.* (2005). SAN FRANCISCO PUBLIC UTILITIES COMMISSION.
- Adams, R. (1998). *Tree-ring responses to drought across species and contrasting sites in the ridge and valley of central pennsylvania* (Τόμ. 44). Forest Science.
- Alley, W. (1984). *The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions* (Τόμ. 23). J. Clim. App. Meteor.

- Austin, C. (2018). Ανάκτηση από <https://mavensnotebook.com>
- Bhalme, H., Mooley, D., & Jadhav, S. (1983). *Fluctuations in the drought/flood area over India and relationships with the Southern Oscillation* (Τόμ. III). Monthly Weather Review.
- Bruins, H., & Berliner, P. (1998). *Bioclimatic aridity, climatic variability, drought and desertification: definitions and management options*. Kluwer Academic Publishers.
- Bryant, E. A. (1991). *Natural Hazards*. Cambridge University Press.
- Bureau of Economic Analysis U.S Department of Comm. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://www.bea.gov>
- California Agricultural Statistics Review, 2016-2017*. (2017). California Department of Water Resources.
- California Department of Water Resources. (2018). Ανάκτηση από <https://water.ca.gov>
- California Drought Contingency Plan*. (2010). California Department of Water Resources.
- California Water Action Plan 2014* . (2014). State of California.
- California Water Action Plan 2016 Update*. (2016). State of California.
- California, S. o. (2013). *California Water Plan 2013 Update*. Department of Water Resources.
- California's Groundwater Update 2013*. (2013). Department of Water Resources, State of California.
- Central Valley Project and State Water Project Drought Operations Plan and Operational Forecast*. (2014). State Water Board of California.
- Cheng, L., Hoerling, M., AghaKouchak, A., Livneh, B., Quan, X.-W., & Eischeid, J. (2016). *How Has Human-Induced Climate Change Affected California Drought Risk?* American Meteorological Society.
- Clarke, J. e. (1989). *Population and Disaster*. Institute of British Geographers Special Publications.s.l, Blackwell.
- Crausbay, S. D., Ramirez, A. R., Carter, S. L., Cross, M. S., Hall, R. K., Bathke, D. J., . . . Moritz, M. A. (2017). *Defining Ecological Drought for the Twenty - First Century*.
- Cubillo, F., & Garrote, L. (2008). *Drought risk and vulnerability in water supply systems*. ResearchGate.
- Curie, R. (1981). *Evidence of the 18,6 year MN signal in the temperature and drought condition in N. America since 1800 A.D* (Τόμ. 86). Journal Geophysical Research.

- Currie, R. (1984). *Periodic (18,6 year) and cyclic (11 year) induced drought and flood in western North America* (Τόμ. 89). Journal Geophysical Research.
- Dieter, C. A., Maupin, M. A., R., C. R., Harris, M. A., Ivahnenko, T. I., Lovelace, J. K., . . . Linsey, K. S. (2015). *Estimated Use of Water in the United States in 2015*. U.S Geological Survey.
- Dracup, J., Lee, K., & Paulson Jr, E. (1980). *On the definition of droughts* (Τόμ. 16). Water Resources Research.
- Draper, A. J., Jenkins, M. W., Kirby, K. W., Lund, J. R., & Howitt, R. E. (2003). *Economic-Engineering Optimization for California Water Management*. JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT.
- Drought in California*. (2015). Department of Water Resources, State of California.
- E.E, MEDAWater, & MEDROPLAN. (2006). *Οδηγίες Διαχείρισης της Ξηρασίας*.
- FAO, 2. (2004). *The state of Food Insecurity in the World and Agricultural Organization of the United Nation*. Rome: U.N.
- FEMA, 1. (1995). *National mitigation strategy, partnerships for building safer communities, mitigation directorate, federal emergency management agency*. FEMA.
- Garcia, R. V. (1984). *Nature Pleads not Guilty*. Pergamon Press.
- Gibbs, W., & Maher, J. (1967). *Rainfall deciles as drought indicators*. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48.
- Gilbert, G. (1917). *Hydraulic-Mining Debris in the Sierra Nevada*. U.S. Geological Survey Professional Paper 105.
- Glantz, M. H. (1994). *Drought desertification and food production*. Cambridge University Press.
- Grantham, T. E., & Viers, J. H. (2014). *100 years of California's water rights system: patterns, trends and uncertainty*. IOP Publishing.
- Gribbin, J. (1978). *The Climatic Threat*. Fontana.
- Griffin, D., & Anchukaitis, K. J. (2014). *How unusual is the 2012–2014 California drought?* AGUPUBLICATIONS.
- Hanak, E., Gray, B., Lund, J., Mitchell, D., Chappelle, C., Jessoe, K., . . . Suddeth, R. (2014). *Paying for Water in California* . Public Policy Institute of California.
- Hanak, E., Lund, J., Dinar, A., Gray, B., Howitt, R., Jeffrey, M., . . . Barton, T. (2011). *Managing California's Water From Conflict to Reconciliation* . Public Policy Institute of California.

- Hayes, M. (1999). *Drought indices*. National drought Mitigation Center.
- Hope, A. (2007). *Tract Housing in California, 1945-1973: A Context for National Register Evaluation*. Cultural Studies Office (CSO) of Caltrans' Division of Environmental Analysis in Sacramento.
- Hudson, H., & Hazen, R. (1964). *Drought and low streamflow in Ven Te Chow*. New York: Handbook of Applied Hydrology, McGrawHill.
- Hurst, H. (1951). *Long term storage capacities of reservoirs* (Τόμ. 116). Trans ASCE.
- Iglesias, A., Cancelliere, A., Gabiña, A., López-Francos, A., Moneo, M., & Rossi, G. (2007a). *Οδηγίες Διαχείρισης της Ξηρασίας, Ευρωπαϊκή Ένωση - Γραφείο Συνεργασίας Ευρωπαϊκής Βοήθειας Ευρω- Μεσογειακό Περιφερειακό Πρόγραμμα για Τοπική Διαχείριση Υδάτων (MEDAWater) Μεσογειακή Ετοιμότητα και Σχεδιασμός Περιορισμού της Ξηρασία*. Ε.Ε.
- Iglesias, A., Lopez-Francos, A., & Moneo, M. (2007b). *Drought magagement guidelines technical annex*. Options Méditerranéennes, Série B 58.
- IPCC. (2008). *Climate Change and Water*. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).
- Kanti, B. (1998). *Coping mechanisms practiced by drought victims (1994/1995) in north Bengal, Bangladesh* (Τόμ. 18). Applied Geography.
- Karl, T. R., & Koscielny, A. J. (1982). *Drought in the United StatesQ 1895-1981* (Τόμ. 5). Journal of Climatology.
- Kelley, R. (1989). *Battling the Inland Sea*. Berkeley: University of California Press.
- Keyantash, J., & Dracup, J. (2002). *The quantification of drought: An evaluation of drought indices* (Τόμ. 8). Blulletin American Meteo. Soc.
- Kogan, F. N. (1995). *Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data*. Bulletin of the American Meteorological Society.
- Kogan, F. N. (1997). *Global drought watch from space*. Bulleting of the American Meteorological Society.
- Koutsoyiannis, D. (2002). *The Hurst phenomenon and fractional Gaussian noise made easy* (Τόμ. 3). Hydrological Sciences Journal.
- Koutsoyiannis, D. (2005). *Uncertainty, entropy, scaling and hydrological stochasticity, 2, Time dependence of hydrological processes and time scaling*. Hydrological Sciences Journal.
- Koutsoyiannis, D. (2010). *A random walk on water* (Τόμ. 14). Hydrology and Earth System Sciences.

- Koutsoyiannis, D. (2011). *Hurst-Kolmogorov dynamics and uncertainty* (Τόμ. 3). Journal of the American Water Resources Association.
- Koytsogiannis, D. (2003). *Climate change, the hurst phenomenon and hydrologicam statistics*. Hydrological Sciences Journal.
- Koytsogiannis, D., Karavokiros, G., Efstratiadis, A., Mamassis, N., Koukouvinos, A., & Christofides, A. (2003). *A decision support system for the management of the water resource system of Athens* (Τόμ. 14-15). Physics and Chemistry of the Earth.
- Lamb, H. H. (1982). *Climate, History and Modern World*. Methuen.
- Libecap, G. D. (2008). *Chinatown Revisited: Owens Valley and Los Angeles—Bargaining Costs and Fairness Perceptions of the First Major Water Rights Exchange*. Journal of Law, Economics and Organization Advance Access.
- Lund, J., Medellin-Azuara, J., Durand, J., & Stone, K. (2018). *Lessons from California's 2012–2016 Drought*. J. Water Resour. Plann. Manage.
- Mandelbrot, B. (1977). *The Fractal Geometry of Nature*. New York: Freeman.
- Marathe, K., & Demuth, S. (2013). *National Drought Policy Guidebook* (Τόμ. 3). Water Research and Management.
- McKee, T., Doesken, N., & Kleist, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, American Meteor Society.
- McKee, T., Doesken, N., & Kleist, J. (χ.χ.). *Drought monitoring with multible time scales*. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, American Meteor Society.
- Meko, D., Woodhouse, C., & Touchan, R. (2014). *Klamath/San Joaquin/Sacramento Hydroclimatic Reconstructions from Tree Rings*. Final Report to California Department of Water Resources.
- Motha, R. P. (2011). *Elements of National Drought Policy in USA*. Drought Mitigation Center Faculty Publications.
- Nicholson, S., Tucker, C., & Ba, M. (1998). *Desertification, drought and surface vegetation: Ane example for the west African Sahel* (Τόμ. 79). Bulletin of the American Metetorological Society.
- Olmstead, A. L., & Rhode, P. W. (2017). *A History of California Agriculture*. Giannini Foundation of Agricultural Economics, University of California Agri.
- Orwing, D. A., & Abrams, M. D. (1997). *Variation in growthresponses to drought among species, site and canopy strata*. Trees.

- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological drought*. U.S Weather Bureau Research Paper 45, 58 pp.
- Pausas, J. (2004). *Changes in fore and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin)*. Climate Change.
- Pickup, G. (1998). *Desertification and climate change - the Australian perspective* (Τόμ. 11). Climate Research.
- Quiring, S. M. (2009). *Monitoring drought: An evaluation of meteorological drought idices*. (Τόμ. 1). Geography Compass.
- Quiring, S., & Papakyriakou, T. (2003). *An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies* (Τόμ. 118). Agr. Forest Meteorol.
- Schlesinger, W., Reynolds, J., Cunningham, G., Huenneke, L., Jarrell, W., Virginia, R., & Whitford, W. (χ.χ.). *Biological feedbacks in global desertification* (Τόμ. 247). Science.
- Smith, D., Hutchinson, M., & McArthur, R. (1993). *Australian climatic and agricultural drought* (Τόμ. 5). Drought Network News.
- Stene, E. A. (1995). *All-American Canal*. Bureau of Reclamation.
- Sustainable Groundwater Management Act (SGMA)*. (2015). State of California.
- Tannenhill, I. R. (1947). *Drought, its Causes and Effects*. New York: Princeton University Press.
- Temperature and Drought: A science assessment by a subgroup of the Drought Task Force*. (2015). Department of Water Resources, State of California.
- Thornthwaite, C., & Mather, J. (1955). *The water balance* (Τόμ. 8). Publication in Climatology, Laboratory of Climatology.
- Tsakiris, G., & Vangelis, H. (2004). *Towards a drought watch system based on spatial SPI* (Τόμ. 18). Water Resources Management.
- Tsakiris, G., & Vangelis, H. (2005). *Establishing a Drought Index incorporating evapotranspiration*. European Water.
- Tsakiris, G., Vangelis, H., & Pangalou, D. (2007). *Regional drought assesment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI)*. Water Resources Management.
- Turton, A., & Ohlsson, L. (1999). *Water scarcity and social stability: towards a deeper understanding of the key concepts needed to manage water scarcity in developing countries, in proceedings*. The ninth Stockholm water conference.
- U.S Bureau of Reclamation. (2018). Ανάκτηση από <https://www.usbr.gov>

- U.S Drought Monitor. (2018). Ανάκτηση από <https://droughtmonitor.unl.edu>
- U.S Library of Congress. (2018). Ανάκτηση από <https://www.loc.gov>
- U.S. Geological Survey. (2018). Ανάκτηση από <https://www.usgs.gov>
- Wallen, C. C. (1967). *Aridity definition and their applicability*. Geographiska Annaler.
- Wilhite, D. (1991). *Drought Planning: A progress for the state government*. Water Resources Bulletin 27:1.
- Wilhite, D. (2000). *Drought as a Natural Hazard: Concepts and definitions in Drought. A Global Assesment*. Routledge.
- Wilhite, D. A. (1998). *Chapter 2 Drought Planning in the United States: Status and Future Directions*. Drought Mitigation Center Faculty Publications.
- Wilhite, D. A. (2012). *Breaking the Hydro-Illogical Cycle: Changing the Paradigm for Drought Management*. Drought Mitigation Center Faculty Publications.
- Wilhite, D., & Glantz, N. (1985). *Understanding the drought phenomenon: The role of definitions* (Τόμ. 10). Water International.
- Willeke, G., Hosking, J., & Wallis, J. (1994). *The National Drought Atlas*. Institute for Water Resources Rep. 94-NDS-4, U.S. Army Corps of Engineers.
- Williams, P. A., Seager, R., Abatzoglou, J. T., Cook, B. I., Smerdon, J. E., & Cook, E. R. (2015). *Contribution of anthropogenic warming to California drought during 2012–2014*. AGUPUBLICATIONS.
- Xenos, D., Passios, I., Georgiades, E., Parlís, E., & Koytsoyiannis, D. (2002). *Water demand management and the Athens water supply*. Sofia: Proceedings of the 7th BNAWQ Scientific and Practical Conference "Water Quality Technologies and Management in Bulgaria".
- Xiao, M., Koppa, A., Mekonnen, Z., Pagan, B. R., Zhan, S., Cao, Q., . . . Lettenmaier, D. P. (2017). *How much groundwater did California's Central Valley lose during the 2012–2016 drought?* AGUPUBLICATIONS.
- Yang, C. Z., Yaniger, S. I., Jordan, V., Klein, D. J., & Bittner, G. D. (2011). *Most Plastic Products Release Estrogenic Chemicals: A Potential Health Problem That Can Be Solved* (Τόμ. 119). Environmental Health Perspectives.
- Yevjevich, V. (1967). *An objective approach to definitions and investigations of hydrologic droughts* (Τόμ. 23). Hydrology Papers.