



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΑΝΟΔΟΥ
ΣΤΑΘΜΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΣΤΟ ΧΩΡΙΚΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ
ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ

Ιωάννης Α. Σκολαρίγκας

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ
ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

Επιβλέπων: Ε. Μπαλτάς, Καθηγητής

Στον Αλέξανδρο..

Ευχαριστίες

Αρχικώς, θα ήθελα να ευχαριστήσω την τριμελή επιτροπή επίβλεψης της διπλωματικής εργασίας η οποία αποτελείται από κυρίους: Μπαλτά Ευάγγελο, Καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. και διευθυντή του τομέα Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Μακρόπουλο Χρήστο Αναπληρωτή Καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. και Νάστο Παναγιώτη Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή κ. Μπαλτά Ευάγγελο για την επικοινωνία και την υποστήριξή του καθόλη την διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών, καθώς και για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, για την ανάληψη μιας διπλωματικής εργασίας με τέτοιο θέμα. Ευχαριστώ επίσης την δεσποινίδα υποψήφια διδάκτορα Ελισσάβητ Φελώνη, του τομέα, για την συνεχή επίβλεψη και συνεργασία που με ζήλο πρόταξε για να εκπονηθεί η παρούσα εργασία μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Παναγιώτα Σκάρλου για την συνεργασία και την υποστήριξη καθώς και όλους μου τους συμφοιτητές για την κοινή αυτή πορεία των τελευταίων δυο ετών όπως και τους ανθρώπους που ήταν και είναι δίπλα μου.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	iv
EXTENDED ABSTRACT	vii
Introduction	vii
Methodology	x
Results and Discussion.....	xii
Conclusions.....	xvi
Selected References	xvii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Αντικείμενο της εργασίας	1
1.2 Διάρθρωση τεύχους.....	1
1.3 Θεωρητικό πλαίσιο.....	2
1.3.1 Κλίμα και κλιματική αλλαγή	2
1.3.2 Άνοδος στάθμης θάλασσας (Α.Σ.Θ.)	14
1.3.3 Σενάρια παγκόσμιας Α.Σ.Θ.....	21
1.3.4 Α.Σ.Θ. στη Μεσόγειο.....	28
1.3.5 Α.Σ.Θ. στην Ελλάδα	31
2 Η ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ.....	44
2.1 Γεωγραφική τοποθέτηση.....	44
2.2 Διοικητική διάρθρωση	44
2.3 Δημογραφικά χαρακτηριστικά:	46
2.4 Οικονομικά χαρακτηριστικά:	47
2.5 Υποδομές και Δίκτυα:	49
2.6 Κλίμα.....	50
2.7 Μορφολογία και γεωλογία	52
2.8 Χρήσεις Γης και προστατευόμενες περιοχές	57
2.9 Περιοχές Περιβαλλοντικού Ενδιαφέροντος.....	59

3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ- ΜΟΝΤΕΛΑ Α.Σ.Θ.....	63
3.1	Βιβλιογραφική επισκόπηση επί των μοντέλων Α.Σ.Θ.....	63
3.1.1	Πλημμυρικά μοντέλα (inundation models).....	63
3.1.2	SLAMM (Sea Level Affecting Marshes Model)	65
3.1.3	BTESS (Barataria - Terrebonne Ecological Landscape Spatial Simulation) - Μοντέλα χωρικής προσομοίωσης φυσικού περιβάλλοντος	67
3.1.4	Το μοντέλο DIVA (Dynamic Interactive Vulnerability Assessment - μοντέλο δυναμικής διαδραστικής αξιολόγησης της ευπάθειας)	69
3.1.5	Το μοντέλο SimCLIM.....	72
3.1.6	Άλλα μοντέλα	74
3.2	Μεθοδολογική προσέγγιση	77
3.2.1	Επιλογή μοντέλου	77
3.2.2	Επιλογή Σεναρίων	77
3.2.3	Επιλογή Περιοχών εφαρμογής.....	79
3.2.4	Εφαρμογή μεθοδολογίας σε περιβάλλον G.I.S. - Μέθοδοι και Υλικά	81
4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	86
4.1	Παραλία «Navarino Dunes».....	86
4.2	Παραλία Βοϊδοκοιλιάς	90
4.3	Παραλία Καλαμάτας	95
4.4	Συζήτηση	100
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	104
5.1	Σύνοψη - Συμπεράσματα.....	104
5.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	106
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	107

Introduction

Climate change and sea level rise (SLR) are two strongly connected issues, especially popular in the global scientific literature, as they both affect the human activities and the natural ecosystems. In a global scale, the 20th century mean SLR was approximately 0.18m, i.e., a mean rate of 1.8 mm/ year. Particularly, during the period 1971 - 2010, the Global Mean Sea Level (GMSL) rise rate was 2 mm/ year and during the years 1993 - 2010 was 3.2 mm/ year (IPCC 2013). Sea level will be continuously rising due to both the climatic processes and the human activities.

It is also necessary to study SLR phenomenon because of its future predictions which are not very optimistic. Among them, the most recent and reliable global forecasts show that by the year 2100 the lower rise of the GMSL will be between 0.17 and 0.28 m, while the upper rise will be between 0.28 and 1.31 m (IPCC 2013, Horton et al. 2014 Kopp et al., 2016 and Mengel et al., 2016).

In the Mediterranean Sea, the estimations differ greatly from the global and, even their values are lower, the trend is also upward (in terms of sea level change). For the previous century the Mean Sea Level (MSL) in the Mediterranean is estimated that it has been increased by 0.12 - 0.15 m with a rate of 1.2 - 1.5 mm/ year (Marcos and Tsimplis 2008). The last 20 - 25 years this rate was 1.9 ± 0.4 mm/ year (Calafat and Jordà 2011), 2.44 ± 0.5 mm/ year (Bonaduce et al. 2016) or 2.8 ± 0.5 mm/ year (Tsimplis et al. 2013).

This phenomenon is attributed to the fact that the Mediterranean Sea is a closed basin which only communicates with the oceans from the Strait of Gibraltar, the Suez Canal, and other seas from the Dardanelles.

Regarding Greece and especially the study area (Region of Messinia) which is located in the south Ionian Sea, there is still a diversity both in the SLR which has been recorded in the past and in the SLR future estimations. This phenomenon is linked to the largest outburst that takes place in the Eastern Mediterranean and at its great distance from the Atlantic Ocean (Papanikolaou et al. 2011). This distinction mainly is observed between the Eastern and Western parts of the Mediterranean Sea, with the Eastern section being characterized by smaller SLR (about 17% in present and future process (Akylas et al. 2005 by PSMSL 2004 and Woodworth and Player 2003)).

According to Akylas et al. (2005); PSMSL (2004) and Woodworth and Player (2003), future SLR in Mediterranean Sea is estimated about 0.6 m for Western part by the year 2050 and 0.5 m for the Eastern part.

Relevant research for the Region of Messinia for SLR in the period 1969 - 1983 found a rise of 5.7 ± 1 mm/ year (Flemming and Woodworth 1988), in the period 1973 - 2000 the MSL rate was about 4.7 mm/ year (Table 1; Akylas et al. (2005); PSMSL (2004); Woodworth and Player (2003)). For the same period (1985 - 2005) other research findings show a SLR of 7.3 mm/ year (Akylas et al. 2005; PSMSL, 2004; Woodworth and Player, 2003) or 0.6 ± 1 mm/ year (Table 1, Marcos and Tsimplis 2008). A study that took into account the satellite measurements for Messinian gulf determined a SLR rate of 2.21 ± 0.08 mm/ year, while, in the same project, the results of sea level measuring stations showed a rate of 3.77 ± 0.1 mm/ year (Table 1, Bonaduce et al. 2016). Finally, the European Environmental Agency (E.E.A.) estimated a sea level rise of 3 - 4 mm/ year (reference period: 1992-2014) for the shoreline around Messinian region while it also predicts for the last 20 years of 21st century a rise up to 0.4 m (E.E.A. 2016, Table 1).

Table 1 Overview of SLR scenarios for Messinia, Greece

<u>Reference period</u>	<u>Rate of Sea Level Rise or Sea Level:</u>	<u>Source</u>
1969 - 1983	+ 5.7 ± 1 mm/ year	Flemming and Woodworth 1988
1973 - 2000	+ 4.7 mm/ year	Akylas et al. 2005 by PSMSL 2004 and Woodworth and Player 2003
1985 - 2000	+ 7.3 mm/ year	Akylas et al. 2005 by PSMSL 2004 and Woodworth and Player 2003
1985 - 2001	+ 0.6 ± 1 mm/ year	Marcos and Tsimplis 2008
1993 - 2012	+ 3.77 ± 0.11 mm/ year ¹	Bonaduce et al. 2016
1993 - 2012	+ 2.21 ± 0.082 mm/ year ²	Bonaduce et al. 2016
1992 - 2014	+ 3 - 4 mm/ year	E.E.A. 2016
2081 - 2100	> + 0.4 m	E.E.A. 2016

A number of researchers has highlighted the best models for SLR applications. These are: the inundation models, which are simple in use and are based on geographical/geospatial informations, the Sea Level Affecting Marshes Model (SLAMM) which is specialized in the prediction of future feedbacks and changes of coastal ecosystems due to SLR, and other more complex and expensive models like BTELSS, and DIVA SimCLIM model (McLeod 2010).

¹ tide gauge records

² satellite altimetry measurements

In this MSc Thesis, the selected method was a G.I.S. - based inundation model. This method is characterized by its simplicity and its austerity in the data requirements. Its disadvantage is that it cannot take into consideration complicated natural processes (coastal ecosystems, etc.).

The study areas are three beaches in the Region of Messinia which are characterized by different geomorphological attributes. Region of Messinia is located at the Southwestern part of Peloponnesos. It has Mediterranean climate and natural beauty which are pole of attraction for many tourists and visitors (Figure 1).

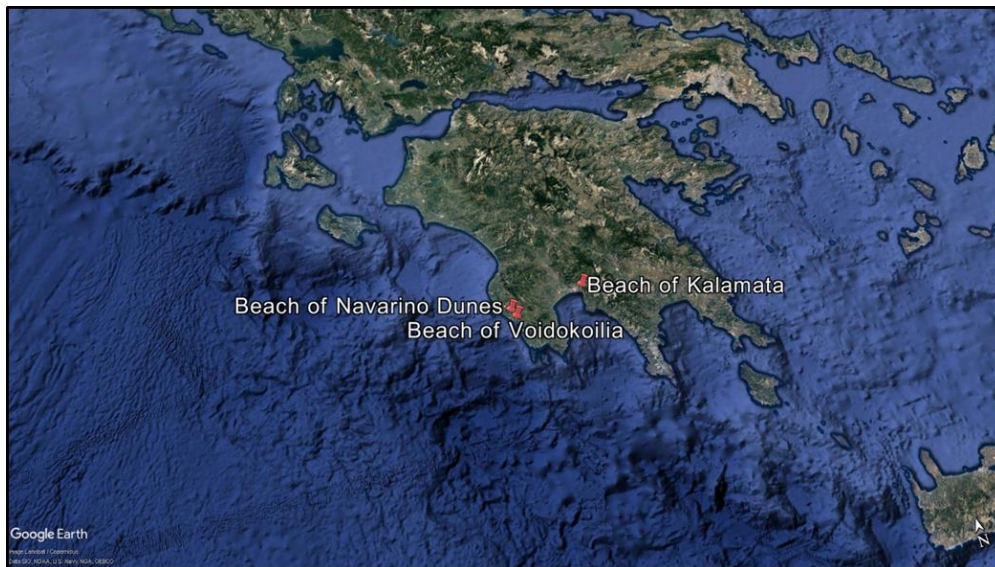


Figure 1 Messinia region and study areas

The first area is the «Navarino Dunes» Beach (Figure 2) at the Western Messinia, its extent is of 133,491 m². Among the human activities, the main are tourism during summer months and a number of luxurious hotels and apartments.



Figure 2 Beach of «Navarino Dunes»

The second area is the beach of Voidokoilia, at the south of the previous area. The extent of the beach is 21,120 m², in a very strange shape that gives it the title of the most beautiful beach of Messinia (Figure 3). It is also a Natura 2000 spot.



Figure 3 Beach of Voidokoilia

The third area is the beach of Kalamata city (Figure 4), which is located at the southeastern of the city (total area: 68,610 m²). This area, due to its semi - urban vicinity, has a lot of accommodation facilities and high number of tourists. Its current good condition and natural beauty gives an aesthetic advantage in the city of Kalamata.

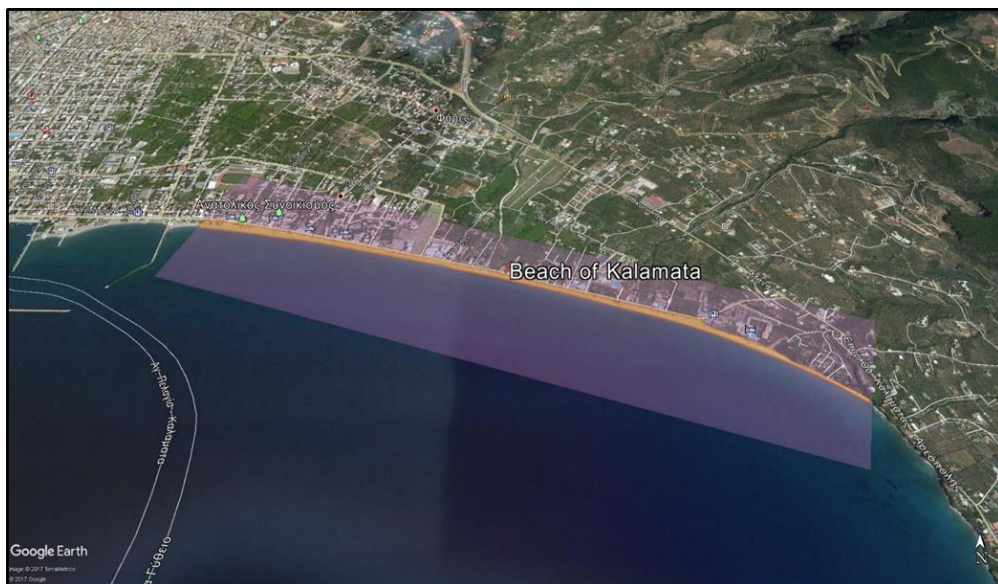


Figure 4 Beach of Kalamata

Methodology

After extensive literature review on the SLR for the study area, realistic SLR scenarios were selected and finally used in the inundation model. Apart from the selected scenarios, an additional scenario

was created, which is based on the observed difference between two historic coastlines, this from 1945 and this from 2009. These coastlines were created in a G.I.S. environment with the aim of two aerial orthophotos - orthophotomaps provided by the national land registry service website. Those data are free available to citizens. The rates of sea level rise during 1945 and 2009 for the three study areas differ with an upward trend directed from the Western to Eastern (Table 2). These rates were assumed to be stable for future projections, both until 2050 and 2100.

Table 2 Rates of sea level rise according to the digitization of the two coastlines (1945, 2009)

<u>Classification</u>	<u>Study Area</u>	<u>SLR rate mm/ year</u>
1 st	Beach of «Navarino Dunes»	4.48
2 nd	Beach of Voidokoilia	6.88
3 rd	Beach of Kalamata	8.56

Table 3 presents the selected scenarios that have been analyzed in this MSc thesis.

Table 3 Sea level scenarios

<u>Classification</u>	<u>Source</u>	<u>Character</u>	<u>SLR by 2050 (m):</u>	<u>SLR by 2050 (m):</u>
1 st	Bonaduce 2016	Lower	0.087	0.194
2 nd	E.E.A. 2016	Lower	0.123	0.273
3 rd	Bonaduce 2016	Upper	0.159	0.352
4 th	E.E.A. 2016	Ανώτατο	0.164	0.364
5 th	R.C.P._8.5_IPCC 2013	Upper	0.19	0.53
6 th	R.C.P._8.5_IPCC 2013	Median	0.25	0.74
7 th	R.C.P._8.5_IPCC 2013	Upper	0.32	0.98

Additionally, the absolute value of the sea level rise for the years 2050 and 2100 which was estimated according to the coastline digitization for each beach is shown in the table 4.

Table 4 Sea level rise from the digitization scenarios at each beach for the years 2050 and 2100

<u>Study area</u>	<u>SLR by 2050 (m)</u>	<u>SLR by 2100 (m)</u>
Beach of «Navarino Dunes»	0.184	0.408
Beach of Voidokoilia	0.282	0.626
Beach of Kalamata	0.351	0.778

Results and Discussion

The main results per study area and for each scenario and for the terminal years of 2050 and 2100 are summarized in Tables 5 - 7.

Table 5 Scenario effects on the beach of «Navarino Dunes»

<u>Classification</u>	<u>SLR scenario by 2050 (m)</u>	<u>Beach loss by 2050 (m²)</u>	<u>% Loss of Beach by 2050</u>	<u>SLR scenario by 2100 (m)</u>	<u>Beach loss by 2100 (m²)</u>	<u>% Loss of Beach by 2100</u>
1 st	Bonaduce (Lower) 0.087	26,335	19.73	Bonaduce (Lower) 0.194	30,372	22.75
2 nd	E.E.A. (Lower) 0.123	27,796	20.82	E.E.A. (Lower) 0.273	33,583	25.16
3 rd	Bonaduce (Upper) 0.159	29,033	21.75	Bonaduce (Upper) 0.352	36,215	27.13
4 th	E.E.A. (Upper) 0.164	29,207	21.88	E.E.A. (Upper) 0.364	36,797	27.57
5 th	Digitized 0.184	30,201	22.62	Digitized 0.408	38,152	28.58
6 th	R.C.P._8.5 (Lower) 0.19	30,297	22.70	R.C.P._8.5 (Lower) 0,53	43,553	32.63
7 th	R.C.P._8.5 (Median) 0.25	32,607	24.43	R.C.P._8.5 (Median) 0.74	51,138	38.31
8 th	R.C.P._8.5 (Upper) 0.32	35,177	26.35	R.C.P._8.5 (Upper) 0.98	59,029	44.22

The beach of «Navarino Dunes» is the area with the smallest proportional loss but with the highest in absolute sizes. One of the most likely scenarios for this study area is based on the values of E.E.A. (SLR = 0.123 m for 2050 and 0.273 m for 2100, Figure 6).

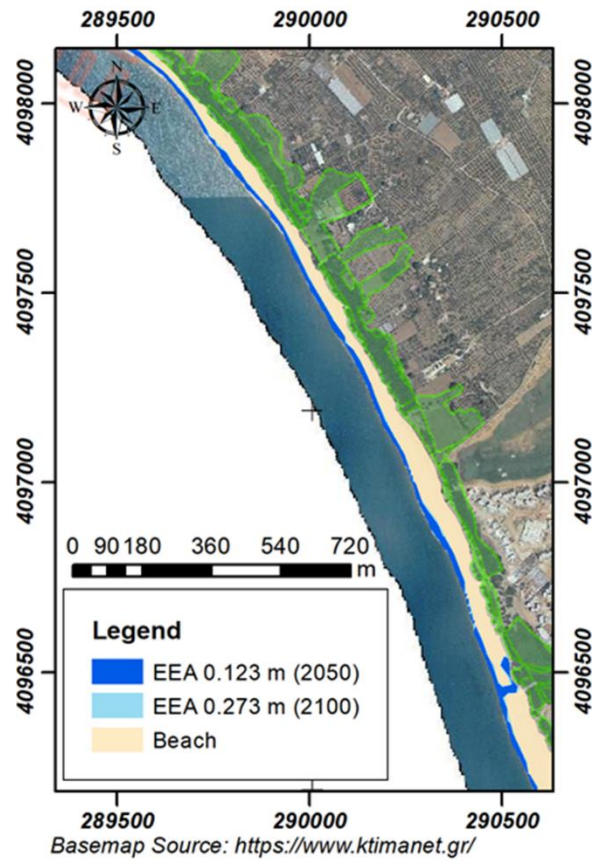


Figure 5 European Environmental Agency SLR scenario applied on «Navarino Dunes» by 2050 and 2100

Concerning the results for the beach of Voidokoilia, it was found that even it is a small beach, it has significant losses for all the examined scenarios (Table 6).

An effect behind the rise of the sea level on the beach of Voidokoilia is the loss of its soil after a limit of rise at the level of the Divarion lagoon, located behind it (Figure 6). This level boundary to the sea and lagoon is about 0.5 m. The rise in the lagoon level may create ecological problems such as loss of nesting sites for migratory birds and conversion to swamp.

Table 6 Scenario effects on the beach of Voidokoilia

<u>Classification</u>	<u>SLR scenario by 2050 (m)</u>	<u>Beach loss by 2050 (m²)</u>	<u>% Loss of Beach by 2050</u>	<u>SLR scenario by 2100 (m)</u>	<u>Beach loss by 2100 (m²)</u>	<u>% Loss of Beach by 2100</u>
1 st	Bonaduce (Lower) 0.087	5,721	27.09	Bonaduce (Lower) 0.194	6,028	28.54
2 nd	E.E.A. 2016 (Lower) 0.123	5,886	27.87	E.E.A. (Lower) 0.273	6,231	29.50
3 rd	Bonaduce (Upper) 0.159	5,955	28.19	Bonaduce (Upper) 0.352	6,448	30.53
4 th	E.E.A. 2016 (Upper) 0.164	5,973	28.28	E.E.A. (Upper) 0.364	6,454	30.56
5 th	R.C.P._8.5 (Lower) 0.19	6,017	28.49	R.C.P._8.5 (Lower) 0.53	6,806	32.22
6 th	R.C.P._8.5 (Median) 0.25	6,186	29.29	Digitized 0.626	7,045	33.35
7 th	Digitized 0.282	6,288	29.77	R.C.P._8.5 (Median) 0.74	7,386	34.97
8 th	R.C.P._8.5 (Upper) 0.32	6,369	30.16	R.C.P._8.5 (Upper) 0.98	8,316	39.38

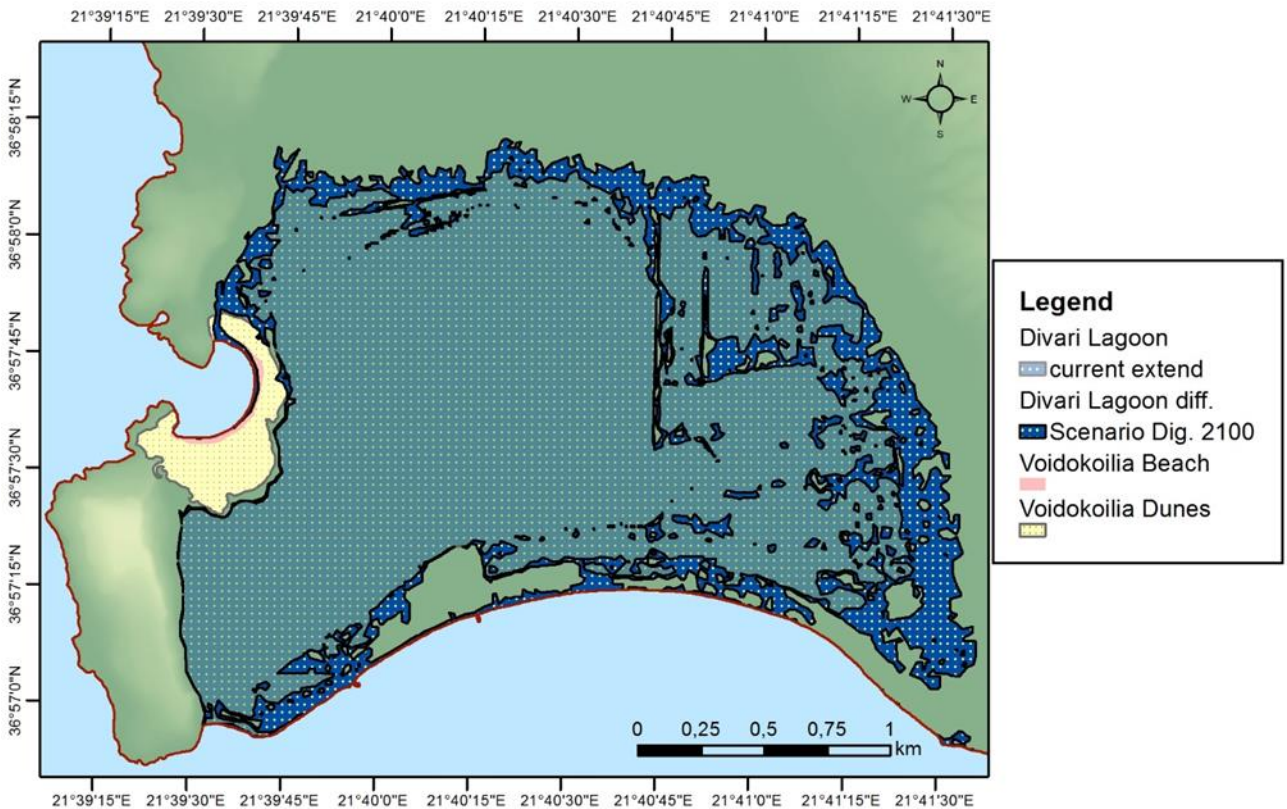


Figure 6 Union of the sea and lagoon at the threshold of the 0.626 m SLR scenario in 2100

The Beach of Kalamata shows the largest proportional beach loss compared to the other two cases (Table 7, Figure 8). This fact should be vigorously tackled because behind it there are many and important economic social and political aspects.

Table 7 Scenario effects on the beach of Kalamata

<u>Classification</u>	<u>SLR scenario by 2050 (m)</u>	<u>Beach loss by 2050 (m²)</u>	<u>% Loss of Beach by 2050</u>	<u>SLR scenario by 2100 (m)</u>	<u>Beach loss by 2100 (m²)</u>	<u>% Loss of Beach by 2100</u>
1 st	Bonaduce (Lower) 0.087	20,700	30.17	Bonaduce (Lower) 0.194	22,325	32.54
2 nd	E.E.A. 2016 (Lower) 0.123	21,546	31.40	E.E.A. 2016 (Lower) 0.273	25,807	37.61
3 rd	Bonaduce (Upper) 0.159	21,971	32.02	Bonaduce (Upper) 0.352	28,678	41.80
4 th	E.E.A. 2016 (Upper) 0.164	22,073	32.17	E.E.A. 2016 (Upper) 0.364	28,960	42.21
5 th	R.C.P._8.5 (Lower) 0.19	22,351	32.58	R.C.P._8.5 (Lower) 0.53	37,283	54.34
6 th	R.C.P._8.5 (Median) 0.25	24,882	36.27	R.C.P._8.5 (Median) 0.74	46,636	67.97
7 th	R.C.P._8.5 (Upper) 0.32	27,399	39.93	Digitized 0.778	48,332	70.44
8 th	Digitized 0.351	28,556	41.62	R.C.P._8.5 (Upper) 0.98	59,970	87.41

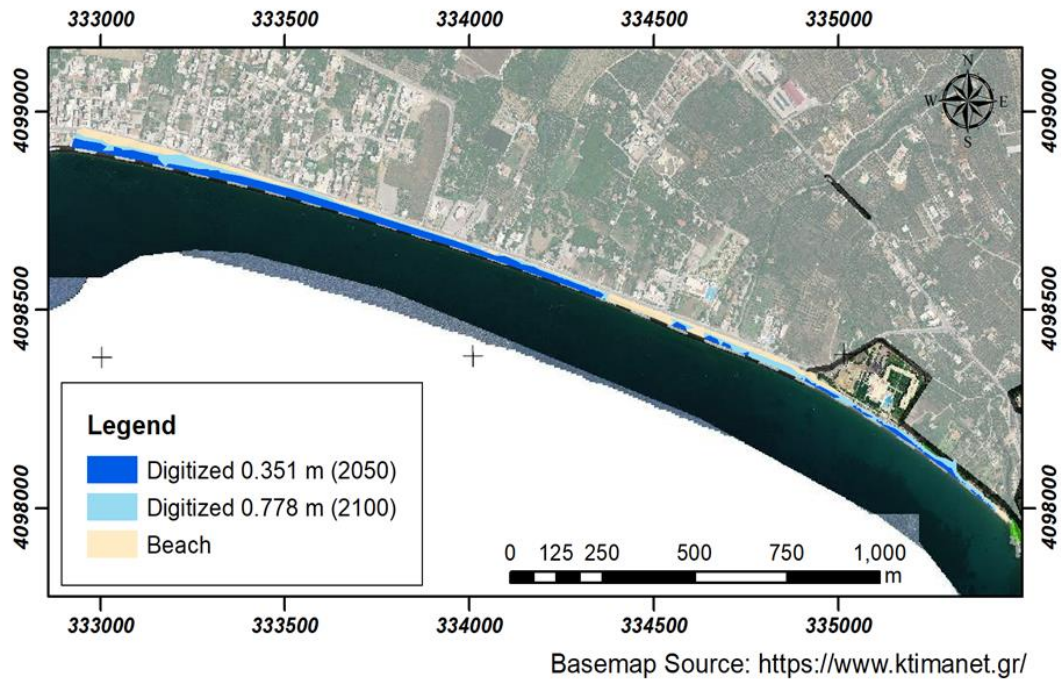


Figure 7 Digitized scenario applied on Kalamata's beach by 2050 and 2100

Conclusions

The main findings of this MSc Thesis are summarized as follows:

- Messinia's coastline evolution is affected by the upcoming SLR.
- The coastline retreating due to SLR appears an increasing trend from the West to the East of the region.
- The largest mean loss of surface is about 48% of Kalamata's current beach (for the four most likely scenarios for 2100), then Voidokoilia follows with 31% and «Navarino Dunes» with 27.11%.
- The biggest negative impact of SLR is the loss of a significant part of the beach, which probably may affect the local tourism.
- For the beach of Kalamata, scenarios show that the coastal central road is in the boundaries of the vulnerable zone and may need some protection with new technical structures in the future.
- For the beach of Voidokoilia, SLR above the 0.5 m will allow the sea to invade the Divarion lagoon and increase salinity in the groundwater aquifer. Additionally, concerning the ecosystem of the region, the general outcome is that the more land is lost due to SLR, the more nests of migration birds are threatened.

Selected References

1. Bonaduce A., Pinardi N., Oddo P., Spada G. and Larnicol G., 2016, *Sea-level variability in the Mediterranean Sea from altimetry and tide gauges*, *Climate Dynamics*, November 2016, Volume 47, Pages: 2851-2866.
2. Calafat F. M. and Jordà G., 2011, *A Mediterranean Sea level reconstruction (1950-2008) with error budget estimates*, *Global and Planetary Change Volume 79, Issues 1-2, October-November 2011*, Pages 118 - 133.
3. European Environmental Agency, 2016, *Global and European sea level*
4. Flemming N.C. and Woodworth L.P., 1988, *Monthly mean sea levels in Greece during 1969 - 1983 compared to relative vertical land movements measured over different timescales*, *Tectonophysics*, Volume 148 (1988), Pages: 59 - 72, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam- Printed in The Netherlands.
5. IPCC, 2013, *CLIMATE CHANGE 2013, The Physical Science Basis, Summary for Policy Makers, Technical Summary and frequently Asked Questions, WORKING GROUP I CONTRIBUTION TO THE FIFTH ASSESSMENT REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE Horton et al. 2014*
6. Kopp E.R., Kemp C. A., Bittermann K., Horton P.B., Donnelly P.J., Gehrels W. R., Hay C.C., Mitrovica X. J., Morrow D. E. and Rahmsorf S., 2016, *Temperature - driven global sea - level variability in the Common Era*, *Centre National d'Etudes Spatiales, Toulouse*.
7. Marcos M. and Tsimplis N. M., 2008, *Coastal sea level trends in Southern Europe*, *Geophys. J. Int.* (2008) 175, Pages: 70-82.
8. McLeod E., Reyes E. and Salm R., 2010, *Sea - level rise impact models and environmental conservation: A review of models and their applications*, *Article in Ocean & Coastal Management, February 2013*
9. Mengel M., Levermann A., Frieler K., Robinson A., Marzeion B. and Winkelmann R., 2016, *Future sea level rise constrained by observations and long - term commitment*, *Centre National d'Etudes Spatiales, Toulouse, France, and approved January 19, 2016 (received for review January 20, 2015)*
10. PSMSL, 2004: *Monthly and Annual Mean Sea Level Station Files*.

11. *Tsimplis N.M., Calafat F. M., Marcos M., Jordà G., Gomis D., Fenoglio - Marc L., Struglia V. M., Josey S. A. and Chambers D.P., 2013, The effect of the NAO on sea level and on mass changes in the Mediterranean Sea, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: OCEANS, Volume 118, Pages: 944-952.*
12. *Woodworth P.L. and Player R., 2003, The Permanent Service for Mean Sea Level: an update to the 21st century, J. Coastal Res. Volume 19, Pages: 287 - 295.*
13. *Ακόλας Ε., Λυκούδης Σ. και Λάλας Δ., 2005, Κλιματική αλλαγή στον Ελλαδικό χώρο Ανάλυση παρατηρήσεων: τάσεις των τελευταίων 100 ετών, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (Ε.Α.Α.), Παρατηρητήριο Κλιματικών Αλλαγών, Αθήνα, 2005.*
14. *Παπανικολάου Μ., Παπανικολάου Δ. και Βασιλάκης Ε., 2011, Μεταβολές στην στάθμη της θάλασσας και επιπτώσεις στις ακτές, ΕΜΕΚΑ, ΤΤΕ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2011.*

1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση της ζώνης κατάκλισης από την Άνοδο της Στάθμης της Θάλασσας (Α.Σ.Θ.) σε επιλεγμένες θέσεις της Περιφερειακής Ενότητας (Π.Ε.) Μεσσηνίας και πιο συγκεκριμένα στις εξής τρεις περιοχές: στην παραλία «Navarino Dunes», στην προστατευόμενη παραλία Βοϊδοκοιλιάς και στο παραλιακό μέτωπο Καλαμάτας. Πριν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας που περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη βιβλιογραφική αναδίφηση σε σχέση με την κλιματική αλλαγή, τη σύνδεση αυτής με την Α.Σ.Θ. και τις επιμέρους επιστημονικές εργασίες που πραγματεύονται το θέμα, ιδίως για την ανατολική Μεσόγειο και για την περιοχή μελέτης. Οι εκτιμήσεις της μελλοντικής στάθμης αφορούν στα έτη υπολογισμού 2050 και 2100. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι εκείνη των πλημμυρικών μοντέλων με την χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information System - G.I.S.), μια απλή τεχνική που δεν απαιτεί μεγάλο όγκο δεδομένων. Οι τιμές Α.Σ.Θ. (σενάρια ανόδου) προκύπτουν από εκτεταμένη βιβλιογραφική επισκόπηση σε εργασίες που ενσωματώνουν την Μεσσηνία σαν περιοχή μελέτης. Επιπλέον, και για την ακριβέστερη εκτίμηση της Α.Σ.Θ. στις περιοχές μελέτης, δημιουργήθηκε πρόσθετο σενάριο για καθεμία περιοχή το οποίο ενσωματώνει την ιστορική εξέλιξη της ακτογραμμής (έτη σύγκρισης 1945 - 2009). Η εφαρμογή των διαφόρων σεναρίων βασίστηκε στη χρήση ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Elevation Model - D.E.M.) υψηλής χωρικής ανάλυσης (5 m), ένα προϊόν του Ο.Κ.Χ.Ε. Α.Ε. Για την διαμόρφωση του πρόσθετου σεναρίου, που λαμβάνει υπόψη την ιστορική εξέλιξη της ακτογραμμής, η απόσπαση της ακτογραμμής πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τα υπόβαθρα του Κτηματολογίου για τις ίδιες χρονιές (1945, 2009). Τα αποτελέσματα των σεναρίων διακρίνονται σε πιθανότερα και λιγότερο πιθανά, όπως αυτά αξιολογούνται από τη μεταξύ τους σύμπτωση στις εκτιμήσεις. Από τα πιθανότερα σενάρια αναδεικνύονται σημαντικά στοιχεία για τη μελλοντική κατάσταση των περιοχών, όπως ενδεικτικά αναφέρεται η απώλεια ακτής σε $m^2/έτος$ σε σύνολο παραλίας, για κάθε σενάριο ανόδου. Πραγματοποιείται, επίσης, σύγκριση των επιμέρους σεναρίων και τελικά διατυπώνονται οι εκτιμήσεις αναφορικά με τις επιπτώσεις της Α.Σ.Θ. για κάθε περιοχή.

1.2 Διάρθρωση τεύχους

Το τεύχος χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή στο επιστημονικό αντικείμενο της Α.Σ.Θ., ενώ περιλαμβάνει και το αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας

- Το δεύτερο κεφάλαιο έχει ως αντικείμενο την περιγραφή της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Π. Ε. Μεσσηνίας) καθώς σε αυτήν εντάσσονται διοικητικά και γεωγραφικά οι περιοχές εφαρμογής, ήτοι: «παραλία Navarino Dunes», «παραλία Βοϊδοκοιλιάς» και «παραλία Καλαμάτας».
- Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η ανασκόπηση αναφορικά με τα μοντέλα που έχουν χρησιμοποιηθεί για την μελέτη και εκτίμηση της Α.Σ.Θ., η τεκμηρίωση της επιλογής κατάλληλης μεθοδολογίας για την παρούσα εφαρμογή, η παρουσίαση των κριτηρίων επιλογής των πλημμυρικών σεναρίων όπως και οι τιμές αυτών, και τέλος η παρουσίαση των περιοχών μελέτης και η μεθοδολογία εξαγωγής ρυθμών Α.Σ.Θ. σύμφωνα με την ιστορική εξέλιξη της ακτογραμμής.
- Το τέταρτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε κάθε περιοχή εφαρμογής, στην λεπτομερή παρουσίαση, ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων.
- Το πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα συμπεράσματα από την εργασία ενώ γίνονται προτάσεις που αφορούν στα μέτρα αντιμετώπισης των επιπτώσεων που συνδέονται με την Α.Σ.Θ., όπως και προτάσεις για μελλοντική έρευνα σε σχέση με το εν λόγω ζήτημα.

1.3 Θεωρητικό πλαίσιο

1.3.1 Κλίμα και κλιματική αλλαγή

Φυσική και ανθρωπογενής μεταβλητότητα του κλίματος

Το κλίμα της γης παρουσιάζει μεταβλητότητα ανά διαφορετικές χρονικές κλίμακες ανάλογα με τον τρόπο που η μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία διασκορπίζεται και απορροφάται και με τον τρόπο που η θερμική και υπέρυθη ακτινοβολία απορροφάται και εκπέμπεται από το σύστημα Γης - ατμόσφαιρας (IPCC, 1990). Οι παράγοντες οι οποίοι διαμορφώνουν τα παραπάνω μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε εξωτερικούς και εσωτερικούς (EMEKA 2011, από: Bradley 1999 και Alvenson et al. 2003). Στους εξωτερικούς παράγοντες περιλαμβάνονται οι τροχιακές παράμετροι Γης - Ήλιου, δηλαδή η εκκεντρότητα της τροχιάς (eccentricity), η κλίση του άξονα περιστροφής της γης (obliquity) και η μετάπτωση των ισημεριών (precession), καθώς και η ηλιακή δραστηριότητα. Στους εσωτερικούς παράγοντες περιλαμβάνονται η ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι διεργασίες ανάδρασης του συστήματος υδρόσφαιρα - ατμόσφαιρα - λιθόσφαιρα - βιόσφαιρα - κρυόσφαιρα (π.χ. albedo, νεφοκάλυψη κ.λπ.), οι διακυμάνσεις του όγκου των παγετώνων, οι μεταβολές της ταχύτητας και του τρόπου κυκλοφορίας των θαλάσσιων ρευμάτων, οι μεταβολές των αερίων του θερμοκηπίου της ατμόσφαιρας (π.χ. CO₂, CH₄) και η επίδρασή τους στην εισερχόμενη και εξερχόμενη θερμική ακτινοβολία, καθώς και οι διάφορες ανθρωπογενείς επιδράσεις (EMEKA 2011).

Παρόλο που η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά 0,85°C το διάστημα 1880 - 2012, παρόλο που οι τρεις τελευταίες δεκαετίες ήταν οι θερμότερες από το 1850 για την επιφάνεια της Γης (IPCC 2013), με την Μέση Παγκόσμια Θερμοκρασία για τον 20^ο αιώνα να υπολογίζεται στους

13,9°C και για το 2016 στους 14,84°C (NOAA 2016), η Γη έχει διανύσει και περίοδο θερμότερη κατά 2°C, αυτήν της προηγούμενης μεσογεπετώδους περιόδου πριν από 120 - 125 ka³ (EMEKA 2011, από: Otto - Bliesner et al. 2006). Στο γεωλογικό παρελθόν λοιπόν έχει καταγραφεί πληθώρα περιόδων παγκόσμιας ανόδου της θερμοκρασίας. Σε κάθε περίπτωση όμως, εκείνη η άνοδος μπορεί να ερμηνευθεί από ποικίλα γεωλογικά γεγονότα ή να συσχετιστεί με αυτά (π.χ. τροχιακές παράμετροι της Γης, κατάρρευση των υδριτών μεθανίου, μεταβολή της κυκλοφορίας των ωκεάνιων ρευμάτων, μεταβολές της ηφαιστειακής δραστηριότητας, μετακίνηση των ηπείρων και μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας).

Η ανησυχία για τη σημερινή άνοδο της θερμοκρασίας, από το 1970 και μετά, οφείλεται στο ότι φαίνεται αδύνατη η αιτιολόγηση του φαινομένου και η συσχέτισή του με κάποια γεγονότα σαν αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω (EMEKA 2011). Η παρούσα άνοδος της θερμοκρασίας επομένως συμπίπτει με την ανθρωπογενούς προέλευσης απότομη αύξηση του CO₂, η οποία, σύμφωνα με τα γεωλογικά δεδομένα και τη θεωρία της φυσικής, αναμένεται να συμβάλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη (Solomon et al., 2007).

Ορισμός κλιματικής αλλαγής και ρόλος IPCC

Ως κλιματική αλλαγή (climate change) ορίζεται ως η αλλαγή στο κλίμα η οποία, αποδίδεται είτε άμεσα είτε έμμεσα στην ανθρώπινη δραστηριότητα, συνδέεται με τη μεταβολή στη σύνθεση της παγκόσμιας ατμόσφαιρας και είναι επιπρόσθετη στην φυσική κλιματική μεταβλητότητα όπως αυτή παρατηρείται σε συγκρίσιμες χρονικά περιόδους (UNFCCC 1992). Ο όρος κλιματική αλλαγή εισήχθη για πρώτη φορά στην παγκόσμια επιστημονική κοινότητα ως “climatic change” το 1955 όταν η παραγωγή CO₂ από την βιομηχανική ανάπτυξη συνδέθηκε με την άνοδο της μέσης θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας. Η θέση αυτή ήρθε σε αντίθεση με μερίδα των έως τότε θεωριών για το κλίμα και υποστήριξε πως η ανοδική τάση της θερμοκρασίας θα συνεχιζόταν για πολλά χρόνια και θα αναδεικνυόταν σε μείζον ζήτημα των μελλοντικών γενεών (PLASS 1955).

Ωστόσο, ήδη από το τέλος του 19^{ου} αιώνα είχε περιγραφεί η θεωρία για το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου στην βάση των έργων του Fourier (hot - house theory) (Arrhenius 1896). Παρόλα αυτά η κλιματική αλλαγή δεν θα αποτελέσει πολιτικό ζήτημα μέχρι την τελευταία δεκαετία του 20^{ου} αιώνα (Bodansky 2001) όταν και το 1988 θα ιδρυθεί από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO) και το Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (UNEP) η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC). Σκοπός της IPCC από την ίδρυσή της έως σήμερα είναι με τακτές εκθέσεις να παρέχεται στις κυβερνήσεις η επιστημονική διάσταση της κλιματικής αλλαγής

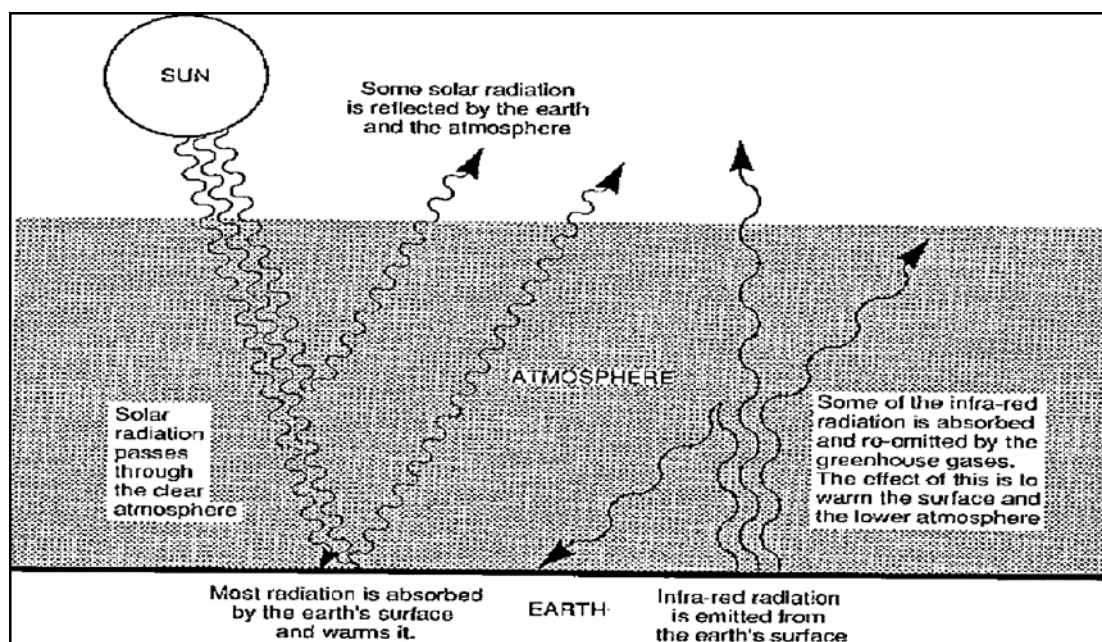
³ Χιλιάδες χρόνια

Σύμφωνα με την IPCC (1990), υπάρχουν διαφορετικοί φυσικοί και ανθρωπογενείς παράγοντες οι οποίοι μπορούν να αλλάξουν το ισοζύγιο ακτινοβολίας μεταξύ της ενέργειας που απορροφάται και εκπέμπεται ή ανακλάται από την Γη. Αυτοί οι παράγοντες ασκούν και την πίεση για την αλλαγή του κλίματος. Ο πιο προφανής φυσικός παράγοντας είναι η αλλαγή στην παραγωγή ενέργειας από τον Ήλιο.

Το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια φυσική διαδικασία που συμβάλει στην θέρμανση της Γης και της Ατμόσφαιρας. Χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου η ζωή στον πλανήτη πιθανότατα δεν θα υπήρχε καθώς η μέση θερμοκρασία της Γης θα ήταν στους -18°C από τους 15°C που είναι σήμερα (Pidwirny 2006). Αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες αλλαγής του ισοζυγίου ακτινοβολίας είναι, το οποίο στην απλούστερη μορφή του περιγράφεται ως εξής:

Η μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία που έρχεται από τον ήλιο και σε έναν βαθμό ανακλάται από τη Γη, μπορεί να περάσει μέσα από τη διαυγή ατμόσφαιρα σχετικά απρόσκοπτα. Όμως, η μακρού μήκους κύματος ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης, απορροφάται μερικώς από ένα πλήθος αερίων (που περιλαμβάνουν κυρίως CO_2 και υδρατμούς), τα οποία βρίσκονται στην ανώτερη ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα) και ύστερα επανεκπέμπεται σ' αυτήν. Δεδομένου ότι κατά μέσο όρο η εξερχόμενη μακρού μήκους κύματος ακτινοβολία, εξισορροπεί την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, τόσο η ατμόσφαιρα όσο και η γήινη επιφάνεια γίνονται θερμότερες από ότι θα ήταν χωρίς τα θερμοκηπικά αέρια (Σχήμα 1.2)(IPCC 1990).

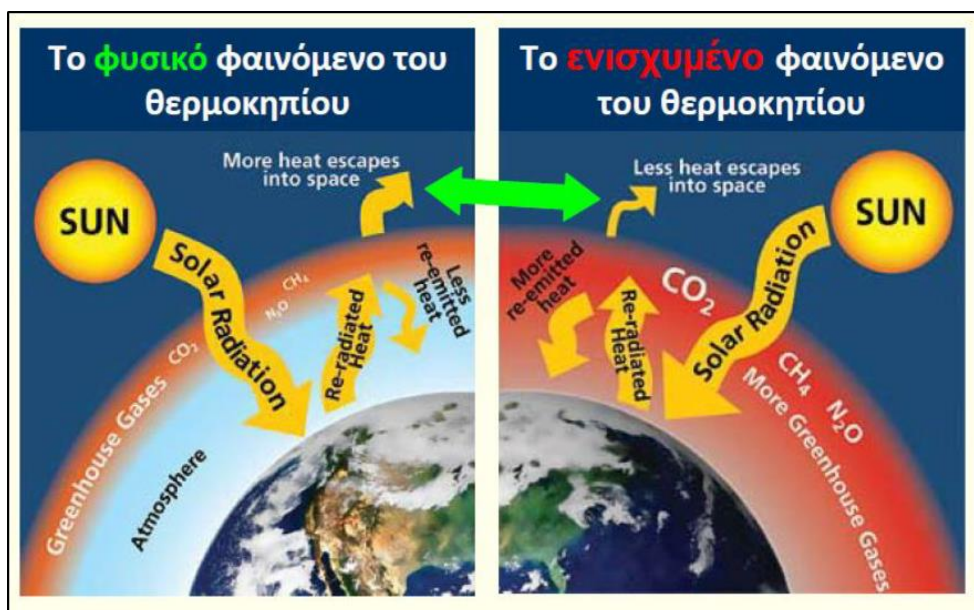


Σχήμα 1.2 Απλοποιημένη σχηματική απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου (IPCC 1990)

Το ανθρωπογενές φαινόμενο του θερμοκηπίου

Αυξάνοντας τις συγκεντρώσεις τους και προσθέτοντας νέα θερμοκηπικά αέρια όπως οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) (μετέπειτα HFCs) η ανθρωπότητα είναι ικανή να ενισχύσει το φαινόμενο του θερμοκηπίου και να αυξήσει την μέση παγκόσμια θερμοκρασία του πλανήτη (Σχήμα 1.3, IPCC 1990).

Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται τα επτά κυριότερα ανθρωπογενή θερμοκηπικά αέρια που οξύνουν τον φυσικό μηχανισμό και οι πηγές από τις οποίες προέρχονται.



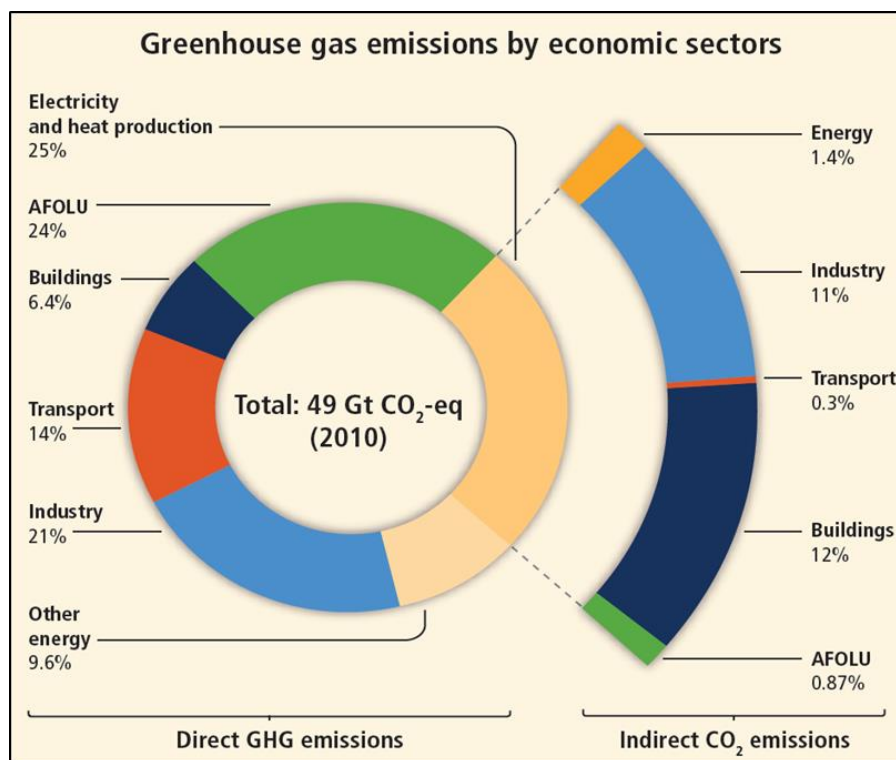
Σχήμα 1.3 Σχηματική απεικόνιση Φυσικού και Ενισχυμένου φαινομένου του θερμοκηπίου (U.S. National Park Service 2015)

Πίνακας 1.1 Επτά κυριότερα ανθρωπογενών αερίων του θερμοκηπίου και των πηγών προέλευσής τους

<u>Χημική ονομασία:</u>	<u>Όνομα:</u>	<u>Πηγές προέλευσης:</u>
CO ₂	Διοξείδιο του άνθρακα	Καύση ορυκτών καυσίμων (δηλ. Χρήση βενζίνης για την οδήγηση και φυσικού αερίου για θέρμανση), αποδάσωση, παραγωγή τσιμέντου.
CH ₄	Μεθάνιο	Αποσύνθεση σκουπιδιών σε χώρους υγειονομικής ταφής, παραγωγή και διανομή φυσικού αερίου και πετρελαίου, ζύμωση από το πεπτικό σύστημα των ζώων, καλλιέργεια ρυζιού, ατελή καύση ορυκτών καυσίμων.
N ₂ O	Υποξείδιο του αζώτου	Καύση ορυκτών καυσίμων, λιπάσματα, παραγωγή νάιλον, πρακτικές καλλιέργειας εδάφους, κοπριά.
HFCs	Φθοροχλωράνθρακες	Καύση ορυκτών καυσίμων, λιπάσματα, παραγωγή νάιλον, πρακτικές καλλιέργειας εδάφους, κοπριά.
PFCs	Υπερφθοράνθρακες	Παραγωγή αλουμινίου, βιομηχανία ημιαγωγών, διαλύτες στη βιομηχανία ηλεκτρονικών, ψυκτικά.

SF ₆	Εξαφθοριούχο θείο	Ηλεκτρικά συστήματα μετάδοσης και διανομής, διακόπτες κυκλώματος, παραγωγή μαγνησίου.
NF ₃	Τριφθοριούχο άζωτο	Λεπτά ηλιακά κύτταρα, κατασκευή ημιαγωγών, πίνακες υγρών κρυστάλλων (LCD), φωτοβολταϊκά.

Σε ότι αφορά την προέλευση των θερμοκηπικών αερίων στην παραγωγική διαδικασία για το 2010, η παραγωγή ηλεκτρισμού και θέρμανσης κατέχει το 25% της εκπομπής θερμοκηπικών αερίων όχι πρωτογενώς, αλλά εμμέσως, μέσω των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων που εκπέμπονται από την χρήση τους. Το ίδιο έτος 24% κατείχαν οι εκπομπές από καύση δασών, αγροτικών εκτάσεων και άλλων χρήσεων γης. Το 21% των εκπομπών κατείχε η βιομηχανία, το 14% οι μεταφορές, το 9,6% από την παραγωγή άλλων μορφών ενέργειας και το 6,4% από τα κτήρια (Σχήμα 1.4, IPCC 2015). Ωστόσο υπάρχουν και άλλοι ανθρωπογενείς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν το κλίμα όπως είναι η επιρροή στο albedo (συντελεστής ανελαστικότητας) της Γης μέσω της ερημοποίησης και της αποδάσωσης, τα ανθρωπογενή θειούχα αερολύματα (aerosols) που παράγονται από την καύση των ορυκτών καυσίμων και οι αλλαγές στο στρώμα του όζοντος από τους CFCs (IPCC 1990).



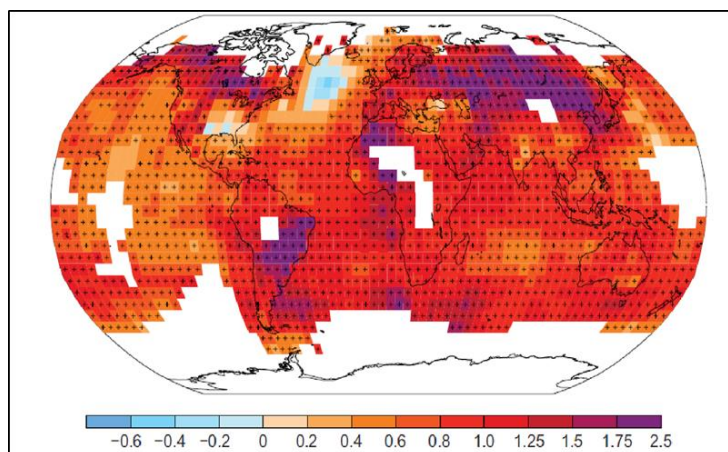
Σχήμα 1.4 Κατανομή στην παραγωγική διαδικασία των συνολικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σε ισοδύναμα γιγατόνων CO₂⁴ από ανθρωπογενή προέλευση για το 2010 (IPCC 2015)

Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο φυσικό περιβάλλον

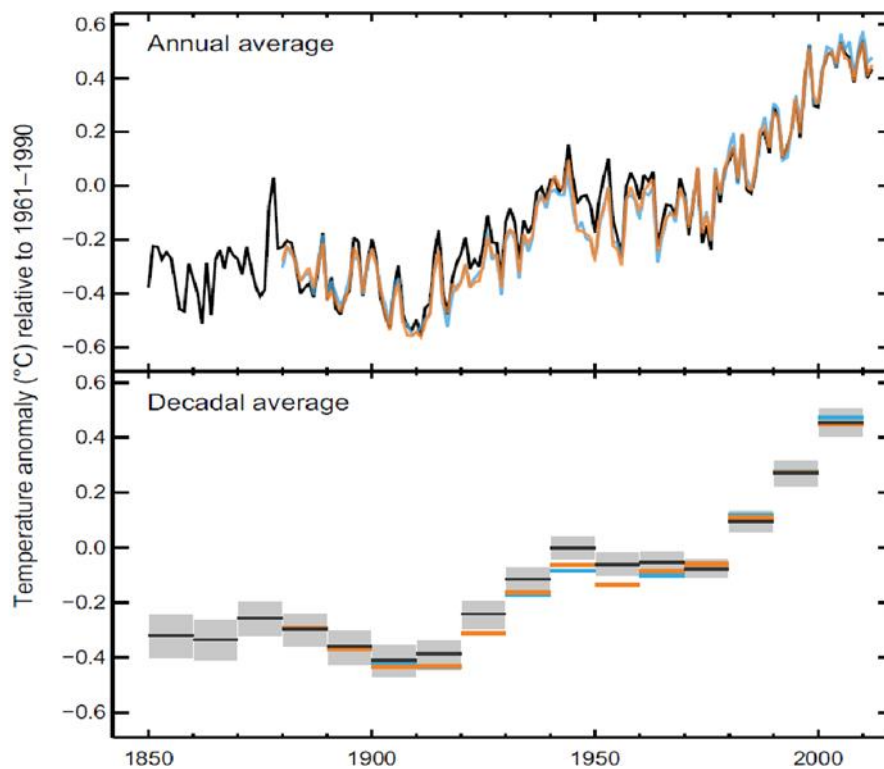
- i. Η θέρμανση της ατμόσφαιρας

⁴ GtC = Ένας γιγατόνος άνθρακα = 1.015 γραμμάρια άνθρακα που αντιστοιχούν σε 3,667 GtCO₂.

Όπως προαναφέρθηκε η μέση παγκόσμια θερμοκρασία του πλανήτη (γήινη και ωκεάνια συνολικά) αυξήθηκε κατά μέσο όρο $0,85^{\circ}\text{C}$ ($0,65 - 1,06^{\circ}\text{C}$) για την περίοδο 1880 - 2012 (Σχήμα 1.5), ενώ η καθαρή αύξηση στην θερμοκρασία μεταξύ των περιόδων 1850 - 1900 και 2003 - 2012 είναι $0,72^{\circ}\text{C}$ (Σχήμα 1.6). Αλλαγές έχουν παρατηρηθεί και ερευνώνται και στα ακραία καιρικά και κλιματικά φαινόμενα ελαίω μεταβολής της θερμοκρασίας από το 1950. Συγκεκριμένα θεωρείται πολύ πιθανό ο αριθμός των κρύων ημερών και νυχτών να έχει μειωθεί και ο αριθμός των ζεστών ημερών και νυχτών να έχει αυξηθεί σε παγκόσμια κλίμακα. Ακόμη υπολογίζεται ότι η συχνότητα εμφάνισης καυσώνων έχει αυξηθεί σε μεγάλα τμήματα της Ευρώπης, της Ασίας και της Αυστραλίας ενώ υπάρχουν πιθανότατα περισσότερες περιοχές στην Γη όπου ο αριθμός των σφοδρών βροχοπτώσεων έχει αυξηθεί από ό,τι όπου έχει μειωθεί. Η συχνότητα ή η ένταση των σφοδρών βροχοπτώσεων πιστεύεται σθεναρά ότι αυξήθηκε στη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη. Στις υπόλοιπες ηπείρους, η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων σχετικά με τις αλλαγές στην εκδήλωση των σφοδρών βροχοπτώσεις είναι χαμηλή (Σχήμα 1.7, IPCC 2013).

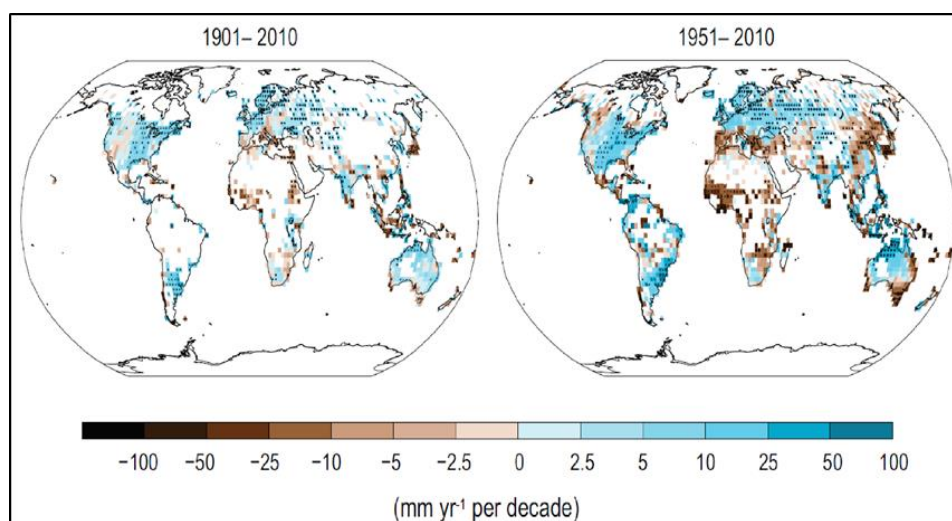


Σχήμα 1.5 Παρατηρούμενη μεταβολή θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) στην επιφάνεια για το διάστημα 1901 - 2012 (IPCC 2013)



Σχήμα 1.6 Διακύμανση της παγκόσμιας χερσαίας και θαλάσσιας θερμοκρασίας για το διάστημα 1850 - 2012.

Άνω τμήμα: ετήσιες τιμές κάτω τμήμα: τιμές δεκαετίας. Με μπλε χρώμα: παρατηρήσεις για τους ωκεανούς. Με καφέ χρώμα: οι χερσαίες. Με μαύρο χρώμα: η εκτιμωμένη αβεβαιότητα (IPCC 2013).

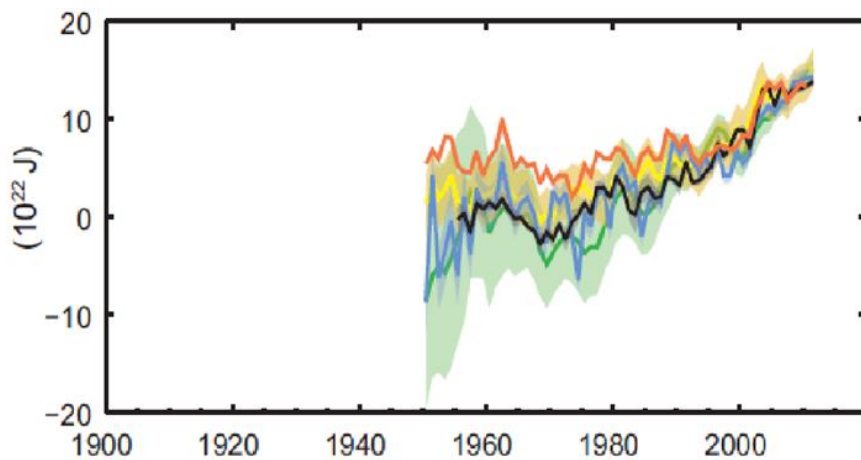


Σχήμα 1.7 Παρατηρούμενη μεταβολή των ετήσιων βροχοπτώσεων στην ξηρά (IPCC 2013)

ii. Η θέρμανση των ωκεανών

Η θέρμανση των ωκεανών η οποία προκύπτει ως συνέπεια της ανόδου της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας αποτελεί και τον κύριο φορέα αποθήκευσης της πρόσθετης ενέργειας στο κλιματικό σύστημα. Συγκεκριμένα υπάρχει ισχυρή πεποίθηση πως το 90% της ενέργειας που αποθήκευσε το κλιματικό σύστημα της Γης για την περίοδο 1971 - 2010 εντοπίζεται εκεί (Σχήμα 1.8). Σε παγκόσμια κλίμακα οι ωκεανοί θερμαίνονται περισσότερο πλησίον της επιφάνειάς τους και ως τα 75 m βάθος

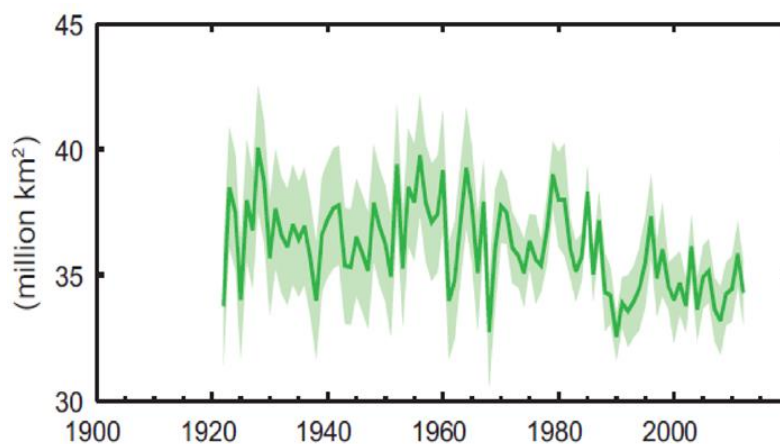
θερμαίνονται κατά μέσο όρο $0,11^{\circ}\text{C}$ $[0,09 - 0,13]$ για κάθε δεκαετία από το 1971 - 2010 ενώ πιστεύεται πως ο ανώτερος ωκεανός (0 - 700 m) είναι πιθανόν να θερμαίνεται από ανθρωπογενείς αιτίες ήδη από το 1870 (IPCC 2013).



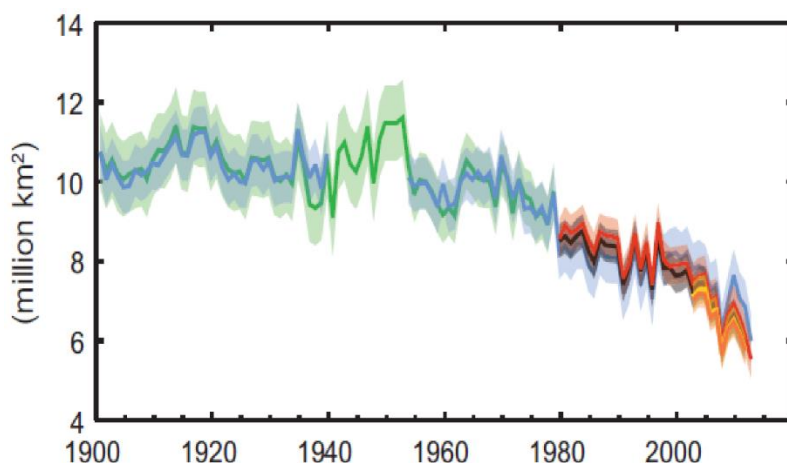
Σχήμα 1.8 Μεταβολή της μέσης παγκόσμιας θερμικής περιεκτικότητας των ωκεανών για το ανώτερο στρώμα τους (0 - 700m) ευθυγραμμισμένη με το 2006 - 2010 και σε σχέση με το μέσο όρο όλων των συνόλων δεδομένων για το 1970 (IPCC 2013)

iii. Η τήξη των πάγων

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες τα στρώματα πάγου της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής έχουν χάσει τη μάζα τους, ενώ οι υπόλοιποι πάγοι παγκοσμίως είναι σε συνεχή συρρίκνωση όπως και ο πάγος στη θάλασσα της Αρκτικής και το χιόνι που καλύπτει την άνοιξη το βόρειο ημισφαίριο χάνουν την έκτασή τους (Σχήματα 1.9 & 1.10). Χαρακτηριστικά ο μέσος ρυθμός τήξεως των στρώσεων πάγου της Γροιλανδίας από 34 Gt/ έτος για την περίοδο 1992 - 2001 αυξήθηκε στους 215 Gt/ έτος την περίοδο 2002 - 2011 (IPCC 2013).



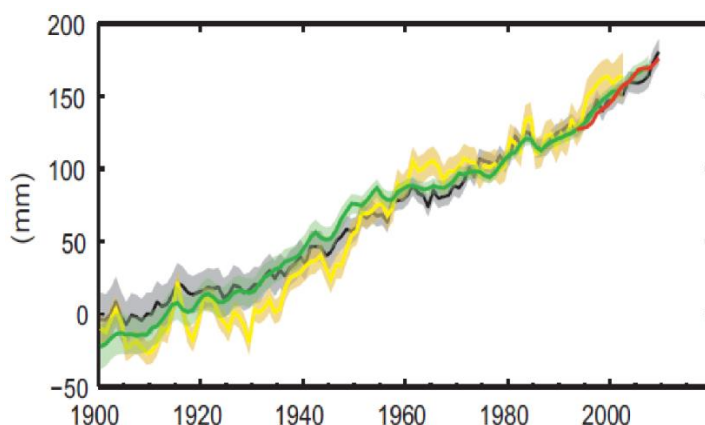
Σχήμα 1.9 Μέση χιονοκάλυψη στο Βόρειο Ημισφαίριο της Γης κατά την εαρινή περίοδο (Μαρτίου - Απριλίου) (IPCC 2013)



Σχήμα1.10 Έκταση του θαλάσσιου πάγου της Αρκτικής κατά τους θερινούς μήνες (Ιούνιο - Αύγουστο) (IPCC 2013)

iv. Η Άνοδος της Στάθμης της Θάλασσας (Α.Σ.Θ.)

Ο ρυθμός της Α.Σ.Θ. από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα θεωρείται σχεδόν βέβαιο πως είναι μεγαλύτερος από τον μέσο ρυθμό των προηγούμενων 2000 ετών. Συνοπτικά υπολογίζεται πως η Στάθμη της Θάλασσας (Σ.Θ.) αυξήθηκε για λόγους όπως η θερμική διαστολή των ωκεανών, η τήξη των πάγων κ.α. κατά μέσο όρο 0,19 m για το χρονικό διάστημα 1901 - 2010 (Σχήμα 1.11, IPCC 2013).



Σχήμα1.11 Η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας σε σχέση με τον μέσο όρο 1900 - 1905 του μεγαλύτερου συνόλου δεδομένων και με όλα τα σύνολα δεδομένων ευθυγραμμισμένα να έχουν την ίδια τιμή το 1993 το πρώτο έτος δορυφορικών υψομετρικών δεδομένων⁵(IPCC 2013)

v. Οι μεταβολές στον κύκλο του άνθρακα και άλλους βιοχημικούς κύκλους

Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου και συγκεκριμένα του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του μεθανίου (CH₄) και του υποξειδίου του αζώτου (N₂O) αυξήθηκαν από το 1750 εξ αιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας. Πιο συγκεκριμένα το 2011 οι συγκεντρώσεις αυτών των αερίων του θερμοκηπίου ήταν 391 ppm, 1803 ppb και 324 ppb αντίστοιχα και υπερέβησαν τα

⁵ Όλες οι χρονοσειρές (οι διαφορετικοί χρωματισμοί συμβολίζουν διαφορετικά σύνολα δεδομένων) παρουσιάζουν ετήσιες τιμές και όπου ενυπάρχει αβεβαιότητα υποδεικνύεται με έγχρωμη σκίαση (IPCC 2013)

προβιομηχανικά επίπεδα κατά περίπου: 40%, 150% και 20% αντίστοιχα. Από το 1750 έως το 2011 από την καύση ορυκτών καυσίμων και την παραγωγή τσιμέντου έχουν απελευθερώσει 375 GtC (345 - 405) στην ατμόσφαιρα, ενώ παράλληλα η αποδάσωση και οι αλλαγές στις χρήσεις γης εκτιμάται ότι έχουν απελευθερώσει 180 GtC (100 - 260). Αποτέλεσμα είναι οι ανθρωπογενείς εκπομπές να προσεγγίζουν σωρευτικά κατά μέσο όρο 555 GtC (470 - 640). Από αυτές τις σωρευτικές εκπομπές του CO₂ κατά μέσο όρο οι: 240 GtC (230 - 250) έχουν συσσωρευτεί στην ατμόσφαιρα, οι 155 GtC (125 - 185) έχουν προσληφθεί από τους ωκεανούς και οι 160 GtC (70 - 250) έχουν συσσωρευτεί σε φυσικά χερσαία οικοσυστήματα. Οι ωκεανοί έχουν απορροφήσει περίπου το 30% του ανθρωπογενώς εκπεμπόμενου CO₂, με αποτέλεσμα την όξυνσή τους. Η όξυνση των ωκεανών ποσοτικοποιείται με μειώσεις στο pH. Το pH των ωκεάνιων επιφανειακών υδάτων εκτιμάται με μεγάλη ασφάλεια πως έχει μειωθεί κατά 0,1 από την αρχή της βιομηχανικής εποχής, που αντιστοιχεί σε 26% αύξηση στη συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (IPCC 2013).

vi. Άλλες επιπτώσεις

Άλλες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αφορούν στην μεγέθυνση των πυρκαγιών σε συχνότητα και έκταση, την μείωση της βιοποικιλότητας (που αφορούν αρκετά την Ελλάδα) (Ζερεφός 2011) την αποσταθεροποίηση των υδατικών συστημάτων (EMEKA 2011) και την συχνότερη και εντονότερη εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων (Easterling et al. 2000). Η κλιματική αλλαγή όμως θα επηρεάσει τους περισσότερους τομείς της ζωής είτε αυτοί αφορούν την οικονομία είτε την κοινωνία. Σε οικονομικές δραστηριότητες όπως η αλιεία, οι υδατοκαλλιέργειες η γεωργία, η εξορυκτική βιομηχανία, οι μεταφορές, το δομημένο περιβάλλον (EMEKA 2011) όπως και ο τουρισμός που είναι πολύ σημαντικός για την Ελλάδα (EMEKA 2014). Επίσης αναμένεται να επηρεαστεί αρνητικά και η δημόσια υγεία μιας και τα αυξανόμενα κύματα καύσωνα, οι πλημμύρες, οι ξηρασίες και οι καταγίδες θα συνδεθούν είτε με απευθείας πλήγματα στους πληθυσμούς (θάνατοι, επιβαρύνσεις, τραυματισμοί κ.α.) είτε με έμμεσα (αλλαγή μηχανισμών διασποράς ασθενειών, επισιτιστικές κρίσεις κ.α.) (Haines et al. 2005).

Για την Ελληνική οικονομία έχουν προκύψει από διεπιστημονική έρευνα του 2011 τα μεγέθη των πινάκων 1.2 & 1,3 σε ότι αφορά το κόστος από την κλιματική αλλαγή, με έτος βάσης το 2008 και για τρία σενάρια προσαρμογής (adaptation) απέναντι στην κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα. Τα σενάρια αυτά δεν μειώνουν την κλιματική αλλαγή αναφέρονται στην μείωση της ζημίας από αυτήν οικονομικά.

Το σενάριο Μη δράσης λογίστηκε ως το δυσμενέστερο σενάριο από πλευράς έντασης κλιματικών αλλαγών και αντιστοιχεί και σε ανυπαρξία κάθε δράσης για μείωση των εκπομπών. Το σενάριο αυτό θα επιφέρει μείωση του Α.Ε.Π. της Ελλάδος κατά 2% σε ετήσια βάση λόγω της έντασης της κλιματικής αλλαγής που εκτιμάται ότι θα λάβει χώρα το 2050 και μείωση του Α.Ε.Π. κατά 6% σε

ετήσια βάση λόγω της έντασης της κλιματικής αλλαγής του έτους 2100. Το συνολικό σωρευτικό κόστος του Σεναρίου Μη Δράσης για την ελληνική οικονομία, για το χρονικό διάστημα έως το 2100, εκφρασμένο ως μείωση του Α.Ε.Π. του έτους βάσης ήταν για το 2050 79 δις € και για το 2100 701 δις € (Πίνακες 1.2 & 1.3).

Το σενάριο μετριασμού ορίστηκε, σε αυτήν την έρευνα η εξέλιξη κατά την οποία η Ελλάδα μειώνει συνεχώς και δραστικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, στο πλαίσιο αντίστοιχης παγκόσμιας προσπάθειας που επιτυγχάνει περιορισμό της αύξησης της μέσης θερμοκρασίας στους δυο βαθμούς Κελσίου. Επομένως, οι επιπτώσεις στην οικονομία της χώρας λόγω αυτής της κλιματικής αλλαγής θα είναι πολύ περιορισμένες αλλά υπαρκτές. Το συνολικό σωρευτικό κόστος του Σεναρίου Μετριασμού για την ελληνική οικονομία, για το χρονικό διάστημα έως το 2100, εκφρασμένο ως μείωση του Α.Ε.Π. του έτους βάσης ήταν για το 2050, 86 δις € και για το 2100, 578 δις € (Πίνακες 1.2 & 1.3).

Το σενάριο προσαρμογής έγκειται στην ανάληψη δράσης κατά τομέα ώστε να μειωθούν οι ζημιές εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής και αναφέρονται σε μέτρα προσαρμογής κατά τομέα, τα οποία ευλόγως οφείλουν να επικεντρώνονται στους τομείς οι οποίοι εκτιμώνται ως οι πλέον ευάλωτοι στην κλιματική αλλαγή. Το μεγαλύτερο μέρος των μέτρων προσαρμογής συνίσταται σε δημόσια έργα και αφορά δημόσια δαπάνη που αποσκοπεί στην προστασία έναντι των επιπτώσεων της αύξησης της θερμοκρασίας, των ακραίων καιρικών φαινομένων, της ξηρασίας και της έλλειψης υδάτινων πόρων, καθώς και της Α.Σ.Θ. Το σενάριο Προσαρμογής θα επιφέρει μείωση στο Α.Ε.Π. κατά 2,3% το 2050 και κατά 3,7% κατά το 2100, ενώ σε συνολικό σωρευτικό κόστος ανέρχεται στα 130 δις € το 2050 και στα 436 δις € το 2100 (Πίνακες 1.2 & 1.3).

Πίνακας 1.2 Το κόστος της κλιματικής αλλαγής και των πολιτικών προσαρμογής και μετριασμού για την ελληνική οικονομία κατά την περίοδο μέχρι το 2100 σε δις €⁶(ΕΜΕΚΑ 2011)

Έτος αναφοράς:	Σενάριο: <u>Μη δράσης</u>	Σενάριο: <u>Μετριασμού</u>	Σενάριο: <u>Προσαρμογής</u>
2050	79	86	130
2100	701	578	436

⁶ Σωρευτικό κόστος (δισεκ. ευρώ του 2008) εκφρασμένο αναφορικά με το μέγεθος του Α.Ε.Π. του έτους βάσης και προεξοφλητικό επιτόκιο 0% (ΕΜΕΚΑ 2011).

Πίνακας 1.3 Μεταβολή του Α.Ε.Π.⁷ της ελληνικής οικονομίας σε ετήσια βάση από το κόστος της κλιματικής αλλαγής και των πολιτικών προσαρμογής ή μη (ΕΜΕΚΑ 2011)

Έτος αναφοράς:	Σενάριο: <u>Μη δράσης</u>	Σενάριο: <u>Προσαρμογής</u>
2050	- 2%	- 2,3%
2100	- 6%	- 3,7%

Μπορεί λοιπόν το οικονομικό κόστος από την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή μεσοπρόθεσμα να είναι μεγαλύτερο από αυτό του μετριασμού ή της μη δράσης όμως μακροπρόθεσμα είναι μικρότερο.

Ερευνητές σε παγκόσμιο επίπεδο υποστηρίζουν πως εάν δε ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής στο μέλλον, τότε η παγκόσμια οικονομία κατά το έτος 2100 θα χάνει περίπου το 23% των εσόδων της (Burke et al. 2015). Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως η απώλεια Α.Ε.Π. εξαιτίας της μη δράσης, τόσο της Ελλάδος όσο και σε παγκόσμια κλίμακα κατά της κλιματικής αλλαγής με σωρευτική έννοια ισοδυναμεί με το τριπλάσιο του σημερινού Α.Ε.Π. της χώρας (ΕΜΕΚΑ 2011). Τέλος οι επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή αναμένεται να έχουν σε κοινωνικό επίπεδο, έντονα ταξικό πρόσημο το οποίο δεν είναι διόλου αμελητέο (Bohle et al. 1994, Burke et al. 2015).

1.3.2 Άνοδος στάθμης θάλασσας (Α.Σ.Θ.)

Ορισμός

Το ύψος της στάθμης της θάλασσας ανεξαρτήτως της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής με την οποία συνδέεται άρρηκτα η παρούσα άνοδος, είναι προϊόν πολλών μεταβλητών και μεταβάλλεται καθόλη της ιστορία της Γης με πολλές επιπτώσεις στα υπόλοιπα βιοτικά και αβιοτικά στοιχεία όπως φυσικά και στην ζωή του ανθρώπου. Μια από επιπτώσεις αυτές που αποτελεί και αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας είναι και η μεταβολή στην ακτογραμμή και το παράκτιο περιβάλλον μέσω της Α.Σ.Θ.

Σε κοινωνικό επίπεδο, το 60% του πληθυσμού της γης έχει εγκατασταθεί, σε μια ζώνη που εκτείνεται σε βάθος 60 km από την ακτογραμμή, εκμεταλλευόμενο τις πολλές παραγωγικές της δυνατότητες, τις ηπιότερες κλιματολογικές συνθήκες και την ευκολία της επικοινωνίας. Η πληθυσμιακή αυτή αναλογία αναμένεται να αυξηθεί έως το 2020 σε ποσοστό άνω του 75% (Αποστολάκης, 2012). Αντίστοιχα, στην Ευρώπη σχεδόν το 50% του πληθυσμού της Ένωσης ζει κοντά στη θάλασσα, σε

⁷ Μείωση του μεγέθους του Α.Ε.Π. και όχι του ρυθμού μεταβολής του

απόσταση μικρότερη ή ίση των 50 km με σκοπό τη διαχείριση και εκμετάλλευση των φυσικών πόρων που απορρέουν από τον παράκτιο χώρο οφείλοντας σε αυτόν ένα μεγάλο μέρος του οικονομικού πλούτου της Ευρωπαϊκής Ένωση (Ε.Ε) (Commission, 2001).

Βιβλιογραφική επισκόπηση μεταβολής παγκόσμιας Στάθμης Θάλασσας (Σ.Θ.)

Αν η Γη έχει ηλικία περίπου 4,5 δισεκατομμύρια έτη, η Σ.Θ. πριν από 450 εκατομμύρια έτη ήταν περί τα 600 m ψηλότερα από σήμερα και πριν από 90 εκατομμύρια έτη 300 m (Πίνακας 1.4, Παπανικολάου κ.α. 2011, από Hallam 1984 και Vail et al. 1984). Πριν από 34 εκατομμύρια έτη δημιουργήθηκαν οι παγετώνες της Ανταρκτικής ενώ πριν από 2,6 οι παγετώνες του βορείου ημισφαιρίου. Από εκείνη την περίοδο (Ice Age) ξεκινούν σύντομες (10 - 30 ka) μεσοπαγετώδεις περιόδους οι οποίες σταδιακά μεγαλώνουν και παρατεταμένες παγετώδεις περιόδους οι οποίες φθίνουν (Πίνακας 1.4). Στην προηγούμενη μεσοπαγετώδη περίοδο από την σημερινή που διανύουμε (120 ka πριν), η στάθμη βρισκόταν περί τα 4 - 9 m ψηλότερα (Παπανικολάου κ.α. 2011, από: Stirling et al. 1998, McCulloch and Esat 2000 και Kopp et al. 2009) και η θερμοκρασία στους πόλους 4 - 6 °C υψηλότερα (Παπανικολάου κ.α. 2011, από: Otto - Bliesner et al. 2006). Ο ρυθμός αύξησης για εκείνη την περίοδο εκτιμάται στα 1 - 1,6 m/ 100 έτη ή στα 16 mm/ έτος (Πίνακας 1.4) (Παπανικολάου κ.α., από: Rohling et al. 2010). Στα 40 - 41 ka πριν, κατά την διάρκεια μιας θερμής διακύμανσης της τελευταίας παγετώδους περιόδου εκτιμήθηκε μέγιστος ρυθμός αύξησης της στάθμης 20 mm/ έτος μέσα σε 1000 χρόνια σύμφωνα με δεδομένα ισοτόπων οξυγόνου και κοραλλιών της Ερυθράς θάλασσας (Πίνακας 1.4, Παπανικολάου κ.α. 2011, από: Siddall et al. 2003). Από τα 21 ka που η θάλασσα ήταν - 120 m από σήμερα, ξεκίνησε να ανέρχεται με διαφορετικούς ρυθμούς έως τη μέγιστη στάθμη της Ολοκαινικής θερμής περιόδου 2 - 3 ka όπου έπιασε τα σημερινά δεδομένα (Πίνακας 1.4, Παπανικολάου κ.α. 2011, από: Shackleton 2000, Waelbroeck et al. 2002, Siddall et al. 2003, Peltier and Fairbanks 2006).

Για τους πρόσφατους ρυθμούς μεταβολής διαφορετικές έρευνες συμφωνούν μεταξύ τους συγκλίνοντας στην τιμή για τον 20^ο αιώνα περίπου στα 1,8 mm/ έτος (Παπανικολάου κ.α. 2011 από Bindoff et. al. 2007), ενώ δορυφορικές μετρήσεις προ δεκαετίας έδειχναν για τα τελευταία 15 χρόνια αύξηση του ρυθμού στα 3 mm/ έτος, τον τότε τρέχοντα ρυθμό ανόδου 1 - 2 mm/ έτος (Παπανικολάου κ.α. 2011, από Bindoff et al., 2007) και μελλοντικές προβλέψεις για το τέλος του 21^{ου} αιώνα με μεγάλο εύρος από +0,2 m για τα θετικότερα σενάρια έως +2m για τα πιο αρνητικά (Πίνακας 1.4, Παπανικολάου κ.α. 2011, από: IPCC 2007 και Pfeffer et al. 2008).

Πίνακας 1.4 Εξέλιξη παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας από 450 ka έτη πριν - σήμερα & της πρόβλεψης για το 2100 (Παπανικολάου κ.α 2011, με τροποποιήσεις)

Χρονική περίοδος	Θέση ΘΣ	Ρυθμός αύξησης ΘΣ	Πηγή προέλευσης δεδομένων
450 εκατομμύρια έτη	+600 m		Hallam 1984 και Vail et al. 1984
90 εκατομμύρια	+300 m		Hallam 1984 και Vail et al. 1984
120 ka8 (προηγούμενη μεσοπαγετώδης)	+ 4 - 9 m		Stirling et al. 1998, McCulloch and Esat 2000, Kopp et al. 2009
120 ka (προηγούμενη μεσοπαγετώδης)		1,6 m/100 years 16 mm/ year	Rohling et al. 2008
40 - 41 ka (θερμή περίοδος κατά την τελευταία παγετώδη)		20 mm/ year (μέγιστος μέσα σε 1000 years)	Siddall et al. 2003
21 - 3 ka	-120 m		Waelbroeck et al. 2002, Siddall et al. 2003, Peltier and Fairbanks 2006
1900 - σήμερα	+0,18 m	1,8 mm/ year	Bindoff et al. 2007
τελευταία 15 χρόνια		3 mm/ year	Bindoff et al. 2007
σήμερα		1 - 2 mm/ year	Bindoff et al. 2007
πρόβλεψη επόμενων 100 χρόνων	+ 0,2 - 2 m		IPCC 2007, Pfeffer et al. 2008

Σε πιο πρόσφατες έρευνες από τις παραπάνω και για τον 20^ο αιώνα μαζί με την πρώτη δεκαετία του 21^{ου} ο ρυθμός ανόδου της παγκόσμιας στάθμης υπολογίζεται κατά μέσο όρο στα 1,7 mm/ έτος (από 1,5 - 1,9 mm/ έτος) (IPCC 2013) περίπου όσο υπολογιζόταν και το 2007 όπως προαναφέρθηκε (Πίνακας 1.5). Όσο όμως προσεγγίζεται ο ρυθμός ανόδου των τελευταίων ετών φαίνεται το αποτύπωμα της κλιματικής αλλαγής καθώς για την 40κονταετία 1971 - 2010 ο ρυθμός υπολογίζεται στα 2 mm/ έτος (από 1,7 - 2,3 mm / έτος) και για την ακόμα πιο πρόσφατη περίοδο 1993 - 2010 ανεβαίνει στα 3,2 mm/ έτος (από 2,8 - 3,6 mm/ έτος) (Πίνακας 1.5, IPCC 2013).

Περίοδος:	Ετήσιος ρυθμός ανόδου:
1901 - 2010	1,7 [1,5 - 1,9] mm/ year
1971 - 2010	2,0 [1,7 - 2,3] mm/ year
1993 - 2010	3,2 [2,8 - 3,6] mm/ year

Μηχανισμοί Α.Σ.Θ.

Η Σ.Θ. παρόλο που ενδιαφέρει τους ερευνητές και σε παγκόσμια κλίμακα εντούτοις αυτό δεν σημαίνει ότι μεταβάλλεται σε όλο τον κόσμο ισόποσα ή ταυτόχρονα. Αντίθετα έχει αποδειχθεί ότι για πολλούς λόγους υπάρχουν περιοχές με διαφορετική μεταβολή κάτι που αποτελεί ερευνητικό αντικείμενο ίσης σημασίας. Η Σ.Θ. ανάλογα με την έκταση στην οποία λαμβάνει χώρα η μεταβολή της μπορεί να διακριθεί σε Τοπική ή Ευστατική. Η τοπική μέση Σ.Θ. (Local Mean Sea Level - LMSL) ορίζεται ως η Σ.Θ. μιας συγκεκριμένης περιοχής, υπολογισμένη κατά μέσο όρο σε μια χρονική περίοδο τέτοια, ώστε οι διακυμάνσεις των κυμάτων ή των ρευμάτων να μην την επηρεάζουν. Ο μηχανισμός που μεταβάλλει την Σ.Θ. τοπικά έχει κάποιες συνιστώσες οι οποίες βρίσκονται σε σχετική αλληλεπίδραση και είναι: ο τοπικός τεκτονισμός, δηλαδή οι ανοδικές ή καθοδικές κινήσεις των τεκτονικών τεμαχίων, η ατμοσφαιρική πίεση, τα ωκεάνια ρεύματα και οι αλλαγές της τοπική θερμοκρασία της θάλασσας. Η αύξηση της θερμοκρασίας και το πάχος του υδατικού στρώματος εξαρτάται για παράδειγμα από την περιοχή. Εννοείται πως για μια δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας, το ζεστό νερό διαστέλλεται πιο εύκολα από το κρύο. Επομένως η γεωγραφική κατανομή των μεταβολών του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας εξαρτάται από τις γεωγραφικές διακυμάνσεις της θερμικής διαστολής, από τα επίπεδα υφαλμύρωσης των υδάτων και από την κυκλοφορία των ανέμων και των ωκεανών. Η έκταση των μεταβολών της Α.Σ.Θ. σε τοπικό επίπεδο είναι σαφώς μεγαλύτερη από τον μέσο όρο της Α.Σ.Θ. σε παγκόσμιο επίπεδο (Νικολάου 2011, από: Δρίτσας 2009). Η ευστατική αλλαγή επηρεάζει την Σ.Θ. σε παγκόσμια κλίμακα και οδηγεί σε αλλαγές του όγκου του νερού στους ωκεανούς ή αλλαγές στον όγκο των ωκεάνιων λεκανών. Οι μηχανισμοί που την ευστατική αλλαγή επηρεάζονται από τις εξής αιτίες:

i. Την θερμική διαστολή

Η θερμική διαστολή του θαλασσινού νερού είναι ο παράγοντας ο οποίος συνεισφέρει περισσότερο στην άνοδο της στάθμης της θαλάσσιας επιφάνειας (κατά τα 2/3 περίπου). Το μέγεθος της θερμικής διαστολής εξαρτάται από τις αλλαγές της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. Μια αύξηση της θερμοκρασίας θα προκαλέσει την αύξηση του όγκου του νερού που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση (Δουκάκης 2005 από Bruun 1962):

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T$$

Εφόσον παραμένει σταθερή η πίεση και η αλατότητα, όπου β είναι ο συντελεστής της θερμικής διαστολής, V_0 είναι ο αρχικός όγκος πριν τη διαστολή, και ΔT η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού. Η τιμή του β κυμαίνεται αρκετά με τη θερμοκρασία, επομένως με το γεωγραφικό πλάτος και το βάθος του νερού. Πάντως, ένας μέσος όρος της τιμής του είναι $\beta = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Από τη στιγμή που το σχήμα και μέγεθος της ωκεάνιας λεκάνης παραμένει σταθερό (όχι σε γεωλογική κλίμακα), τότε ο συντελεστής β περιγράφει επίσης την αλλαγή στη Σ.Θ. με την ακόλουθη σχέση (Δουκάκης 2005 από Bruun 1962):

$$\Delta h = \beta D \Delta T$$

Έτσι, αν υποθέσουμε ότι θα υπάρξει μεταβολή της θερμοκρασίας κατά 1°C σε έναν ωκεανό βάθους 5.000 m, τότε θα έχουμε μια άνοδο της στάθμης του νερού κατά 1,1m (Δουκάκης 2005).

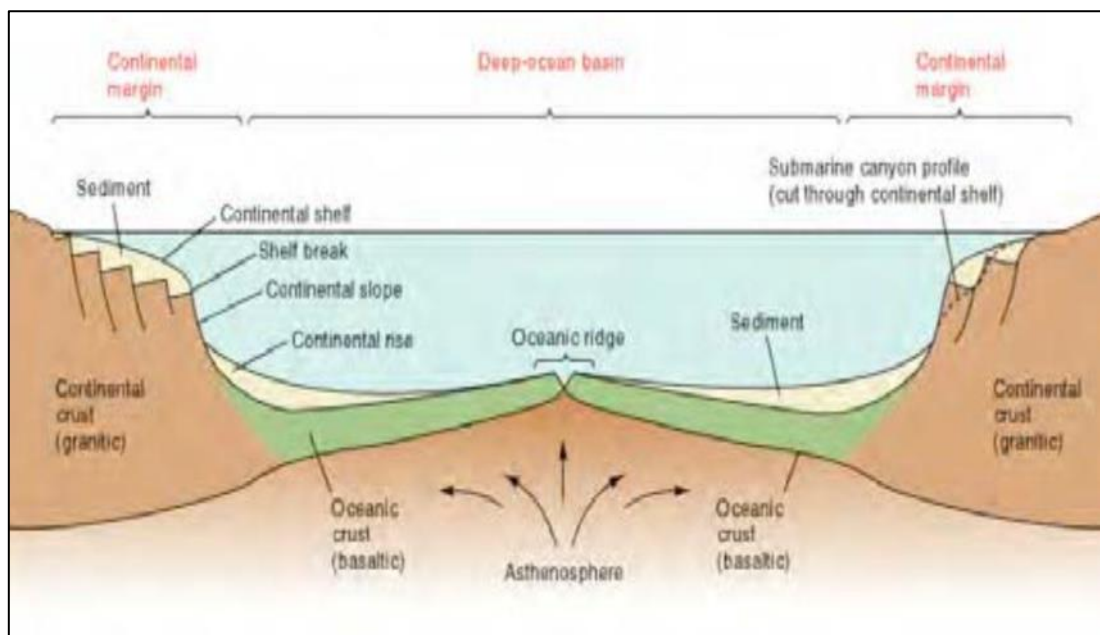
ii. Το λιώσιμο των πάγων:

Το λιώσιμο των πάγων που είναι και αυτός ένας παράγοντας ο οποίος συνεισφέρει στην Α.Σ.Θ., προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας. Είναι δύσκολο όμως να ποσοτικοποιηθεί η ακριβής αλλαγή στο μέγεθος και την επιφάνεια κάλυψης τους από τη στιγμή που τα δεδομένα είναι σποραδικά.

Οι καλύτερες πρόσφατες εκτιμήσεις δείχνουν ότι κατά το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου οι πάγοι υπερέβαιναν σε όγκο τους σημερινούς κατά $53 \times 10^6 \text{ km}^3$. Η Σ.Θ. έχει άμεση σχέση με τη μετακίνηση του νερού από τους ωκεανούς (εξάτμιση) προς τους πάγους (με τη μορφή κατακρημνισμάτων). Το επίπεδο της θάλασσας πέφτει κατά τη διάρκεια των παγετωδών περιόδων (οπότε και σχηματίζονται οι πάγοι) και ανέρχεται κατά τις μεσοπαγετώδεις περιόδους (λιώσιμο των πάγων). Όσον αφορά τους πάγους, χωρίς να γίνεται λόγος για την σημερινή κλιματική αλλαγή, οι μεταβολές τους παρατηρούνται σε διαστήματα τάξης μερικών δεκάδων χιλιάδων ετών και επιφέρουν αλλαγή της Σ.Θ. μέχρι 100m (Δουκάκης 2005, από: Milliman 1998).

iii. Οι τεκτονικές διεργασίες

Οι τεκτονικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο στερεό φλοιό της γης προκαλούν τη μεταβολή της στάθμης των ωκεανών, αλλά αυτός ο παράγοντας, βέβαια, δεν σχετίζεται με τις κλιματικές αλλαγές όπως οι δύο προαναφερόμενοι. Η κλίμακα του χρόνου στην οποία συμβαίνουν αυτές οι αλλαγές είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις αλλαγές των πάγων. Έτσι, οι τεκτονικές διεργασίες μπορεί να καταλαμβάνουν ένα διάστημα εκατοντάδων χιλιάδων ή εκατομμυρίων χρόνων, προκαλώντας μεταβολές της μέσης στάθμης της θάλασσας έως μερικές εκατοντάδες μέτρα. Ο ρόλος του τεκτονισμού είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε τεκτονικά ενεργές ζώνες, καθώς μπορεί να εξουδετερώσει τη σχετική Α.Σ.Θ., όταν αυτή αφορά ανερχόμενα τεμάχια ενεργών ρηγμάτων, ή αντίθετα, να την ενισχύσει στην περίπτωση σχετικά κατερχόμενων τεμαχίων (Σχήμα 1.12).



Σχήμα 1.12 Μηχανισμός αλλαγής όγκου θαλάσσιας λεκάνης (Νικολάου 2011)

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η παράκτια ζώνη της Βόρειας Πελοποννήσου, με ρυθμούς ανύψωσης από 0,3 έως 1,5 mm/ έτος, της Κρήτης με 0,7 έως 4 mm/ έτος και της Ρόδου με 1,2 - 1,9 mm/ έτος. Έτσι, για παράδειγμα, μια μέση τιμή ανόδου της στάθμης της θάλασσας της τάξεως των 4,3 mm/ έτος θα μειωθεί στα 3,5 mm/ έτος με την αφαιρετική δράση μιας μέσης τιμής τεκτονικής ανύψωσης της τάξεως των 0,8 mm/ έτος (ΕΜΕΚΑ 2011).

iv. Άλλοι παράγοντες

Μπορεί η Μέση Στάθμη της Θάλασσας (Μ.Σ.Θ.) να αυξάνει τα τελευταία έτη, αλλά αυτό δε σημαίνει ότι δεν υπάρχουν και άλλα φαινόμενα που προκαλούν μείωσή της, η οποία βέβαια, σαν παγκόσμιος μέσος όρος δεν φαίνεται λόγω του ότι υπερτερούν οι διαδικασίες που την αυξάνουν. Για παράδειγμα, η κατασκευή φραγμάτων και η χρησιμοποίηση νερού για άρδευση μειώνουν τη Σ.Θ. Αν δεν υπήρχαν αυτοί οι λόγοι μείωσης της στάθμης, τότε αυτή θα ήταν μεγαλύτερη κατά 2,3 mm. Γενικά, η επίδραση των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στη Σ.Θ. μπορεί να περιγραφεί με την ακόλουθη εξίσωση:

$$SLR^9 = (G+U+C+D+W)-(R+I)^{10}$$

Οι όροι της πρώτης παρένθεσης έχουν σχέση με τους παράγοντες, οι οποίοι συμβάλλουν στην άνοδο της Μ.Σ.Θ., ενώ αυτοί της δεύτερης στη μείωση της Μ.Σ.Θ. Έτσι, καθένας από αυτούς εκφράζει την ποσότητα:

⁹ όπου SLR η Α.Σ.Θ.

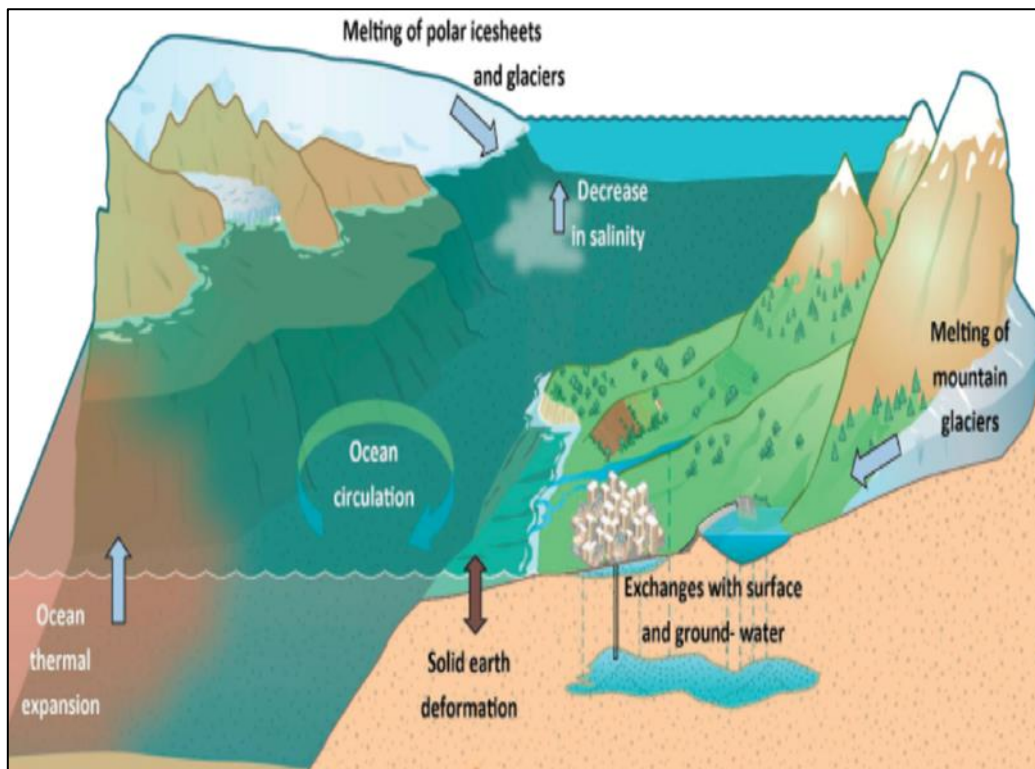
¹⁰ Δουκάκης 2005, από: Σταχτέας 1996.

- G: του νερού των παράκτιων περιοχών
- U: της αύξησης της επιφανειακής απορροής λόγω της αστικοποίησης
- C: της αύξησης της επιφανειακής απορροής λόγω της καύσης των ορυκτών καυσίμων και της αποσύνθεσης της βιομάζας των οργανικών στοιχείων του εδάφους
- D: της αύξησης της επιφανειακής απορροής λόγω της αποψίλωσης των δασών
- W: της αποστράγγισης των περιοχών με πλούσιους υδροφορείς
- R: της συγκέντρωσης του νερού σε δεξαμενές και
- I: της άρδευσης.

Ακόμα και οι ευστατικές μεταβολές που αναφέρθηκαν παραπάνω δεν είναι ομοιόμορφες ή παγκόσμια ταυτόχρονες όπως ίσως αναμενόταν δεδομένου ότι οι ωκεανοί συνδέονται μεταξύ τους.

Αυτή η διαφορετική απόκριση της στάθμης ερμηνεύεται σε μεγάλο ποσοστό από την προσαρμοστική ικανότητα της Γης (ελαστική παραμόρφωση) απέναντι στην μεταβολή επιφανειακών φορτίων πάγου και νερού που τήκεται (Παπανικολάου κ.α. 2011, από: Chappell 1974 και Clark et al. 1978).

Κατά την τήξη των πάγων λαμβάνει χώρα η ισοστατική παραμόρφωση, η οποία συντελεί στην ανύψωση της χέρσου, που αποφορτίζεται από το επιφανειακό φορτίο των πάγων, ενώ το νερό της τήξης επιφορτίζει πλέον τις ωκεάνιες λεκάνες. Εξαιτίας της ιξώδους φύσης του εσωτερικού της Γης, η ισοστατική παραμόρφωση συνεχίζεται και μετά (μερικά ka) την τήξη των πάγων (Σχήμα 1.13, Παπανικολάου κ.α 2011, από: Walcott 1972 και Clark et al. 1978).



Σχήμα 1.13 Η μεταβολή των γαιών από ισοστατική παραμόρφωση (<http://climatesafehouse.nz/>)

1.3.3 Σενάρια παγκόσμιας Α.Σ.Θ.

Η κλιματική αλλαγή από τον άνθρωπο επομένως αναμένεται να επιφέρει δραστικά αποτελέσματα σε δύο από του πολύ σημαντικούς παράγοντες της ευστατικής μεταβολής καθώς θα εντείνει και την θερμική διαστολή των ωκεανών και την τήξη των πάγων. Αλλαγές ωστόσο θα επέλθουν και στην τοπική στάθμη από τις μεταβολές στα τοπικά κλίματα. Την τελευταία δεκαετία, πλήθος ερευνών σε όλο τον κόσμο έρχεται να εκτιμήσει με διαφορετικές μεθόδους την επερχόμενη Α.Σ.Θ. Στο σύνολό τους, το εύρος των αποτελεσμάτων τους ποικίλει αλλά όλες συγκλίνουν σε κοινό αποτέλεσμα αναφορικά με την άνοδο της στάθμης. Ακολουθεί μια ανασκόπηση στις σημαντικότερες από αυτές (Πίνακας 1.6).

Από το 2007 και την τέταρτη έκθεση της IPCC (AR4), με περίοδο βάσης για την θερμοκρασιακή αλλαγή το 1980 - 1999, προβλεπόταν για το 2090 - 2099, αύξηση της παγκόσμιας στάθμης με εύρος 0,18 - 0,59 m από την μικρότερη τιμή του καλύτερου σεναρίου έως την μεγαλύτερη του χειρότερου (IPCC 2007). Οι Pfeffer et al. (2008) αμφισβήτησαν τη μεθοδολογία της IPCC και το γεγονός ότι εκείνη δεν συνυπολόγιζε την ανάδραση των εδαφών στο λιώσιμο των πάγων της Γροιλανδίας και πως αντιλαμβανόταν την άνοδο της στάθμης μονοδιάστατα και όχι δυναμικά. Έτσι για το 2100 παρουσιάζουν την άνοδο μεγαλύτερη τόσο σε απόλυτες τιμές όσο και σε εύρος στα 0,8 - 2 m.

Πίνακας 1.6 Βιβλιογραφική επισκόπηση εκτιμώμενων τιμών Α.Σ.Θ. (Ιδια επεξεργασία)

Χρονική περίοδος	Θέση ΘΣ	Πηγή προέλευσης δεδομένων
Για το 2090 - 2099	+ 0,18 - 0,59 m	IPCC 2007
Για το 2100	+ 0,8 - 2 m	Pfeffer et al. 2008
Για το 2100	+ 0,75 - 1,9 m	Vermeer and Rahmstorf 2009
Για το 2100	+ 0,57 - 1,1 m	Jevrejeva et al. 2012
Για το 2100	+ 0,10 - 0,84 m	Bamber et al. 2013
Για το 2046 - 2065	+ 0,17 - 0,38 m	IPCC 2013
Για το 2081 - 2100	+ 0,26 - 0,82 m	IPCC 2013
Για το 2100	+ 0,28 - 0,98 m	IPCC 2013
Για το 2100	+ 0,25 - 1,5 m	Horton et al. 2014
Για το 2100	+ 0,24 - 1,31 m	Kopp et al., 2016
Για το 2100	+ 0,28 - 1,31 m	Mengel et al., 2016

Οι Vermeer and Rahmstorf (2009) με περίοδο βάσης τη άνοδο της θερμοκρασίας που συντελέστηκε το 1880 - 2000, πρότειναν για τιμές ανόδου ως το 2100 ένα εύρος 0,75 - 1,9 m το οποίο χωριζόταν και σε ενδιάμεσα εύρη ανάλογα με τα σενάρια που ήταν ίδια με της IPCC 2007 αλλά αναπροσαρμοσμένα ως προς την περίοδο βάσης. Το 2012 οι Jevrejeva et al. χρησιμοποίησαν μια νέα γενιά σεναρίων για την προσομοίωση και εξέλιξη του κλίματος (R.C.P's) και εκτίμησαν άνοδο της παγκόσμιας στάθμης κατά 0,57 - 1,1 m για το 2100 χρησιμοποιώντας περίοδο αναφοράς για την παγκόσμια θερμοκρασία 1980 - 2000. Το 2013 σε μια έκθεση σύνοψης των εκτιμήσεων που έχουν γίνει για το 2100 προέκυψε πως το εύρος τους κυμαινόταν στο 0,1 - 0,84 m με συχνότερα εμφανιζόμενη τιμή τα 0,29 m σημαντικά ψηλότερα δηλαδή από την IPCC 2007 η οποία θεωρήθηκε αβάσιμα αισιόδοξη από πολλούς ερευνητές (Bamber et al. 2013). Η πέμπτη και πιο πρόσφατη έκθεση της IPCC το 2013 (AR5), που χρησιμοποίησε τα R.C.P. σενάρια, με περίοδο αναφοράς 1986 - 2005, εκτιμά για την περίοδο 2046 - 2065 άνοδο 0,17 - 0,38 m. Για την περίοδο 2081 - 2100 προβλέπει άνοδο 0,26 - 0,82 m, ενώ συγκεκριμένα για το 2100 άνοδο με εύρος 0,28 - 0,98 m. Η μικρότερη τιμή των προβλέψεων για κάθε περίοδο αντιστοιχεί στην μικρότερη τιμή του ευνοϊκότερου σεναρίου και η μεγαλύτερη στην μεγαλύτερη του δυσμενέστερου. Το 2014 πάλι σε έρευνα σύνοψης των εκτιμήσεων που έχουν γίνει για το 2100 προέκυψε πως το εύρος τους κυμαινόταν σε άνοδο 0,25 - 1,5 m με χαρακτηρισμό πολύ πιθανό και 90% πιθανότητες να τελεστεί. Το 2016 σε μια επανεκτέλεση των ίδιων σεναρίων της IPCC 2013 και με έτος βάσης το 2000 προέκυψε εύρος ανόδου για το 2100:

0,24 - 1,31 m με την μικρότερη τιμή των προβλέψεων να αντιστοιχεί στην μικρότερη τιμή του ευνοϊκότερου σεναρίου και η μεγαλύτερη στην μεγαλύτερη του δυσμενέστερου από τα τρία σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν (Kopp et al., 2016). Τέλος, οι Mengel et al. (2016) χρησιμοποιώντας την ίδια μεθοδολογία με την προηγούμενη (πρόβλεψη για την στάθμη το 2100, επανεκτέλεση τριών από τα σενάρια της IPCC 2013), αλλά με την διαφορά πως η περίοδος βάσης ήταν το 1986 - 2005, οδηγήθηκαν σε αποτελέσματα σχεδόν παρόμοια (με εύρος ανόδου 0,28 - 1,31 m). Στον Πίνακα 1.7 παρουσιάζεται μία σύνοψη των εκτιμώμενων τιμών Α.Σ.Θ. σύμφωνα με τις αντίστοιχες βιβλιογραφικές πηγές.

Πίνακας 1.7 Βιβλιογραφική επισκόπηση εκτιμώμενων τιμών Α.Σ.Θ. (Ίδια επεξεργασία)

Χρονική περίοδος	Θέση ΘΣ	Πηγή προέλευσης δεδομένων
Για το 2090 - 2099	+ 0,18 - 0,59 m	IPCC 2007
Για το 2100	+ 0,8 - 2 m	Pfeffer et al. 2008
Για το 2100	+ 0,75 - 1,9 m	Vermeer and Rahmstorf 2009
Για το 2100	+ 0,57 - 1,1 m	Jevrejeva et al. 2012
Για το 2100	+ 0,10 - 0,84 m	Bamber et al. 2013
Για το 2046 - 2065	+ 0,17 - 0,38 m	IPCC 2013
Για το 2081 - 2100	+ 0,26 - 0,82 m	IPCC 2013
Για το 2100	+ 0,28 - 0,98 m	IPCC 2013
Για το 2100	+ 0,25 - 1,5 m	Horton et al. 2014
Για το 2100	+ 0,24 - 1,31 m	Kopp et al., 2016
Για το 2100	+ 0,28 - 1,31 m	Mengel et al., 2016

Μεθοδολογικές προσεγγίσεις IPCC (2007) - IPCC (2013)

Η IPCC από την ίδρυσή της έχει χρησιμοποιήσει διαφορετικές προσεγγίσεις στα σενάρια προσομοίωσης και πρόβλεψης της κλιματικής αλλαγής. Η εξέλιξή τους ξεκινά από την απλή προσομοίωση και μοντελοποίηση των ποσοστιαίων αυξήσεων στις μέσες παγκόσμιες συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου και καταλήγει στις μέρες μας έως τις αναβαθμισμένες προσομοιώσεις των εκπομπών πολλών ακόμα αερίων και σωματιδίων που επηρεάζουν το κλίμα με δεδομένο ότι έχουν γίνει και θίγονται επίσης, λεπτομερείς κοινωνικοοικονομικές και τεχνολογικές παραδοχές. Από την *τρίτη* έκθεση της IPCC το 2001 (TAR) όπως και μετέπειτα για την *τέταρτη* (AR4) χρησιμοποιήθηκαν τα Special Reports on Emission Scenarios (S.R.E.S.). Η συγκεκριμένη μεθοδολογία βασισμένη στις ενδεχόμενες μελλοντικές κοινωνικοοικονομικές εξελίξεις του κόσμου

εκτιμά το επίπεδο στο οποίο θα βρίσκονται οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και κατ' επέκταση οι μεταβολές που θα προκαλέσουν στο κλίμα (Πίνακας 1.8).

Πίνακας 1.8 Επισκόπηση των σεναρίων Α.Σ.Θ. (Βjörnsnes, 2015)

<u>Έτος:</u>	<u>Όνομασία:</u>	<u>Εφαρμογή:</u>
1990	SA90	First Assessment Report (AR1)
1992	IS92	Second Assessment Report (AR2)
2000	SRES - Special Report on Emissions and Scenarios	Third and Fourth Assessment Report (AR3 and AR4)
2009	R.C.P. - Representative Concentration Pathways	Fifth Assessment Report (AR5)

Η ομαδοποίηση των σεναρίων που γίνεται έχει ως εξής(IPCC 2000):

- Ομάδα A1: περιγράφεται ένας μελλοντικός κόσμος με πολύ ταχεία οικονομική ανάπτυξη, παγκόσμιο πληθυσμό που κορυφώνεται στα μέσα του αιώνα (8,7 δις το 2100) και μετά μειώνεται (7,1 δις το 2100) και η ταχεία εισαγωγή νέων και αποδοτικότερων τεχνολογιών. Η ομάδα A1 διαθέτει τα τρία ακόλουθα σενάρια με βάση την πηγή της ενέργειας που θα χρησιμοποιείται στην παραγωγή:
 - A1FI: ενέργεια βασισμένη στα ορυκτά καύσιμα.
 - A1T: ενέργεια που δεν βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα.
 - A1B: ισορροπία μεταξύ όλων των πηγών ενέργειας.
- Ομάδα A2: περιγράφει έναν κόσμο με οξυμένες διακρατικές αντιθέσεις, αδυναμία στην λήψη συλλογικών αποφάσεων, προστατευτισμό στην οικονομία, βραδύτερο ρυθμό στην οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη σε σχέση με την A1 και παγκόσμιο πληθυσμό που το 2100 φτάνει τα 15 δις. Οι πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται κατά το δοκούν από κάθε χώρα. Για την ομάδα A2 δεν έχουν χρησιμοποιηθεί σενάρια.
- Ομάδα B1: περιγράφει έναν συγκλίνοντα κόσμο με τον ίδιο παγκόσμιο πληθυσμό που κορυφώνεται στο μεσαίο και μειώνεται στη συνέχεια, όπως στην A1, αλλά με ταχείες αλλαγές στις οικονομικές δομές προς μια οικονομία υπηρεσιών και πληροφοριών, με μειώσεις στην παραγωγή υλικών και την καθιέρωση καθαρών και αποδοτικών από πλευράς πόρων τεχνολογιών. Η έμφαση δίνεται στις παγκόσμιες λύσεις στην οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική αιεφορία, συμπεριλαμβανομένης της βελτίωσης της ισότητας, αλλά χωρίς πρόσθετες πρωτοβουλίες για το κλίμα.

- Ομάδα B2: σ' αυτήν την ομάδα στην οποία οι πολιτικές εξειδικεύονται και οι περιβαλλοντικές λύσεις δίνονται σε τοπική και περιφερειακή κλίμακα ο πληθυσμός αυξάνεται συνεχώς (10,4 δις το 2100) αλλά με ρυθμό μικρότερο από την A2, λιγότερες αντιθέσεις στην ανάπτυξη των χωρών και των κοινωνιών, τεχνολογική εξέλιξη πιο αργή αλλά σε περισσότερους τομείς σε σχέση με την B1 και την A1.

Ακολουθεί η παρουσίαση των μεταβολών στην θερμοκρασία ανάλογα με το σενάριο όπως περιεγράφηκε παραπάνω και η ακόλουθη μεταβολή στην Σ.Θ. (Πίνακας 1.9).

Πίνακας 1.9 Εκτιμήσεις 4ης Έκθεσης (IPCC 2007) για την παγκόσμια ατμοσφαιρική θερμοκρασία και την παγκόσμια Α.Σ.Θ. για την περίοδο 2090 - 2099 με περίοδο βάσης την 1980 - 1999 (IPCC 2007)

Σενάρια IPCC 2007	Αλλαγή ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας °C		A.Σ.Θ. (m)
	Καλύτερη Πρόβλεψη	Εύρος Διακύμανσης	Εύρος Διακύμανσης
B1	+0,6	+0,3 - 0,9	-
A1T	+1,8	+1,1 - 2,9	+0,18 - 0,38
B2	+2,4	+1,4 - 3,8	+0,20 - 0,45
A1B	+2,4	+1,4 - 3,8	+0,20 - 0,43
A2	+2,8	+1,7 - 4,4	+0,21 - 0,48
A1FI	+3,4	+2,0 - 5,4	+0,23 - 0,59

Στην πέμπτη (AR5) και τελευταία έκθεση της IPCC το 2013 χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση των Representative Concentration Pathways (R.C.Ps). Η εφαρμογή αυτών των σεναρίων για την Κλιματική Αλλαγή έχει να κάνει με την υπολογιζόμενη σε Watt ακτινοβολία, η οποία αναμένεται να προσπίπτει προσαυξημένη στην επιφάνεια της Γης ανά μονάδα m² σαν συνέπεια της αλλαγής του ενεργειακού ισοζυγίου (Γης - διαστήματος), από την όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό πως η αυξημένη ακτινοβολία συνεπάγεται και αυξημένη θερμοκρασία.

Τέλος πριν από τις τιμές των σεναρίων που ακολουθούν οι οποίες ήταν μεγαλύτερες από την προηγούμενη έκθεση, αξίζει να σημειωθεί πως η μεθοδολογία αυτή έχει προσμετρήσει εκτός από την επίδραση του φαινομένου του θερμοκηπίου και την συνεπίδραση των μικροσωματιδίων (aerosols) από την ανθρωπογενή ρύπανση η οποία έχει ανασχετικό ρόλο στα παραπάνω (Bjornaes 2015). Σε ότι αφορά τα σενάρια της AR5 και τα αποτελέσματα που ακολουθούν:

- Το R.C.P. 2,6: υποθέτει πως η προσπίπτουσα ακτινοβολία αναμένεται να φθάσει έως τα 3,1 W/m² πριν να κατέλθει στα 2,6 W/m² μέχρι το 2100 και η συγκέντρωση θερμοκηπικών αερίων είναι κατά μέσο όρο 450 ppm. Προκειμένου να προσεγγισθούν αυτά τα επίπεδα, απαιτούνται φιλόδοξες μειώσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου με την πάροδο του χρόνου. Αυτό το σενάριο δεν είναι συγκρίσιμο με κανένα από τα S.R.E.S. σενάρια. Προβλέπει συγκεκριμένα: Μειωμένη χρήση

πετρελαίου, χαμηλή ένταση ενέργειας, παγκόσμια επίπεδα πληθυσμού εννιά δισεκατομμυρίων μέχρι το έτος 2100, αύξηση των καλλιεργειών για την παραγωγή βιοενέργειας, εντατικότερη κτηνοτροφία, οι εκπομπές μεθανίου θα μειωθούν κατά 40%, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα παραμένουν στο σημερινό επίπεδο μέχρι το 2020, στη συνέχεια μειώνονται και γίνονται αρνητικές το 2100, οι συγκεντρώσεις του CO₂ κορυφώνονται γύρω στο 2050, ακολουθούμενες από μια μικρή μείωση σε περίπου 400 ppm έως το 2100.

- Το R.C.P. 4,5: είναι λίγο ευνοϊκότερο από το R.C.P. 6 και υποθέτει επίσης πως η προσπίπτουσα ακτινοβολία μετά το έτος 2100 έχει σταθεροποιηθεί στα 4,5 W/m² και η συγκέντρωση θερμοκηπικών αερίων είναι κατά μέσο όρο 670 ppm ώστε να είναι εφικτή στο μέλλον η προοπτική ακόμα λιγότερων εκπομπών και συγκεντρώσεών τους. Το σενάριο αυτό είναι συγκρίσιμο με το B2. Προβλέπει συγκεκριμένα ότι οι εκπομπές CO₂ αυξάνονται μόνο ελαφρώς πριν αρχίσει η κάμψη τους γύρω στο 2040, σταθερές εκπομπές CH₄, υλοποίηση αυστηρών κλιματικών πολιτικών, χαμηλότερη ενεργειακή ένταση, ισχυρά προγράμματα αναδάσωση, μείωση της χρήσης καλλιεργειών και λιβαδιών λόγω αύξησης της απόδοσης και διατροφικών αλλαγών.
- Το R.C.P. 6: υποθέτει πως η προσπίπτουσα ακτινοβολία μετά το έτος 2100 έχει σταθεροποιηθεί κατά μέσο όρο στα 6 W/m² και η συγκέντρωση θερμοκηπικών αερίων είναι κατά μέσο όρο 860 ppm χάρη στην εφαρμογή πολιτικών και στρατηγικών μείωσης των εκπομπών τους. Το σενάριο αυτό είναι συγκρίσιμο με το B2. Προβλέπει συγκεκριμένα ότι οι εκπομπές CO₂ κορυφώνονται το 2060 στο 75% ενώ στη συνέχεια μειώνονται σε 25% πάνω τα σημερινά επίπεδα, την ύπαρξη έντονης εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμων, φειδωλότερη κατανάλωση ενέργειας, αυξανόμενη χρήση καλλιεργήσιμων εκτάσεων και φθίνουσα χρήση λιβαδιών, σταθερές εκπομπές CH₄.
- Το R.C.P. 8,5: είναι συγκρίσιμο με το A1F1 της AR4. Βασίζεται στην υπόθεση ότι δεν θα υλοποιηθούν τα αποφασισμένα μέτρα για την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου για τις οποίες υποθέτει επίσης πως θα αυξάνονται συνεχώς. Προβλέπει ότι ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας θα είναι > 6,8 W/m² για το 2100, η συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου >1000 ppm¹¹ (σε μονάδες ισοδύναμου CO₂), η αύξηση των εκπομπών CH₄ θα χαρακτηρίζεται ταχεία, ο παγκόσμιος πληθυσμός στα 12 δις για το 2100, χαμηλότερο ρυθμό τεχνολογική ανάπτυξης, εντατικότερη και εκτατικότερη γεωργία και κτηνοτροφία λόγω του επερχόμενου επισιτιστικού προβλήματος και υψηλή εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα.

Ακολουθεί η παρουσίαση των μεταβολών στην θερμοκρασία και την Σ.Θ. αναλόγως το σενάριο εφαρμογής (Πίνακας 1.10).

¹¹ Η συνολική συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου είναι υπολογισμένη σε ισοδύναμα CO₂ (parts per million CO₂ equivalents) (IPCC 2013).

Πίνακας 1.10 Εκτιμήσεις 5η Έκθεσης (IPCC 2013) για την παγκόσμια ατμοσφαιρική θερμοκρασίας και την παγκόσμια Α.Σ.Θ. για τα μέσα και το τέλος το 21^{ου} αιώνα

Σενάρια IPCC 2013 ¹²		2046 - 2065		2081 - 2100	
		Μέση τιμή	Εύρος διακύμανσης	Μέση τιμή	Εύρος διακύμανσης
Παγκόσμια ατμοσφαιρική θερμοκρασία (°C)	R.C.P.2,6	1,0	0,4 - 1,6	1,0	0,3 - 1,7
	R.C.P.4,5	1,4	0,9 - 2,0	1,8	1,1 - 2,6
	R.C.P.6,0	1,3	0,8 - 1,8	2,2	1,4 - 3,1
	R.C.P.8,5	2,0	1,4 - 2,6	3,7	2,6 - 4,8
Σενάρια IPCC 2013		Μέση τιμή	Εύρος διακύμανσης	Μέση τιμή	Εύρος διακύμανσης
Παγκόσμια Α.Σ.Θ. (m)	R.C.P.2,6	0,24	0,17 - 0,32	0,40	0,26 - 0,55
	R.C.P.4,5	0,26	0,19 - 0,33	0,47	0,32 - 0,63
	R.C.P.6,0	0,25	0,18 - 0,32	0,48	0,33 - 0,63
	R.C.P.8,5	0,30	0,22 - 0,38	0,63	0,45 - 0,82

Στη συνέχεια (Πίνακας 1.11) παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις για την Α.Σ.Θ. σύμφωνα με τα τέσσερα παραπάνω σενάρια, για συγκεκριμένα έτη (2020, 2030, κλπ.), όπως αυτά διατυπώνονται στην IPCC 2013.

Πίνακας 1.11 Σενάρια¹³ Α.Σ.Θ., για τον 21^ο αιώνα ανά δεκαετία, από την 5^η Έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC 2013)

Έτος	SRES A1B	R.C.P.2,6	R.C.P.4,5	R.C.P.6,0	R.C.P.8,5
2007	0,03 [0,02 - 0,04]	0,03 [0,02 - 0,04]	0,03 [0,02 - 0,04]	0,03 [0,02 - 0,04]	0,03 [0,02 - 0,04]
2010	0,04 [0,03 - 0,05]	0,04 [0,03 - 0,05]	0,04 [0,03 - 0,05]	0,04 [0,03 - 0,05]	0,04 [0,03 - 0,05]
2020	0,08 [0,06 - 0,10]	0,08 [0,06 - 0,10]	0,08 [0,06 - 0,10]	0,08 [0,06 - 0,10]	0,08 [0,06 - 0,11]
2030	0,12 [0,09 - 0,16]	0,13 [0,09 - 0,16]	0,13 [0,09 - 0,16]	0,12 [0,09 - 0,16]	0,13 [0,10 - 0,17]
2040	0,17 [0,13 - 0,22]	0,17 [0,13 - 0,22]	0,17 [0,13 - 0,22]	0,17 [0,12 - 0,21]	0,19 [0,14 - 0,24]
2050	0,23 [0,17 - 0,30]	0,22 [0,16 - 0,28]	0,23 [0,17 - 0,29]	0,22 [0,16 - 0,28]	0,25 [0,19 - 0,32]
2060	0,30 [0,21 - 0,38]	0,26 [0,18 - 0,35]	0,28 [0,21 - 0,37]	0,27 [0,19 - 0,35]	0,33 [0,24 - 0,42]
2070	0,37 [0,26 - 0,48]	0,31 [0,21 - 0,41]	0,35 [0,25 - 0,45]	0,33 [0,24 - 0,43]	0,42 [0,31 - 0,54]
2080	0,44 [0,31 - 0,58]	0,35 [0,24 - 0,48]	0,41 [0,28 - 0,54]	0,40 [0,28 - 0,53]	0,51 [0,37 - 0,67]
2090	0,52 [0,36 - 0,69]	0,40 [0,26 - 0,54]	0,47 [0,32 - 0,62]	0,47 [0,33 - 0,63]	0,62 [0,45 - 0,81]
2100	0,60 [0,42 - 0,80]	0,44 [0,28 - 0,61]	0,53 [0,36 - 0,71]	0,55 [0,38 - 0,73]	0,74 [0,53 - 0,98]

^{12,12} Τα συγκεκριμένα σενάρια έχουν δημιουργηθεί με περίοδο αναφοράς το χρονικό διάστημα 1986 – 2005.

1.3.4 Α.Σ.Θ. στη Μεσόγειο

Όπως προαναφέρθηκε η Σ.Θ. εκτός από τις παγκόσμιες μεταβολές υπόκειται και σε περιφερειακές και τοπικότερες για τις οποίες και ερευνάται.

Η Σ.Θ. στην Μεσόγειο την περίοδο των τελευταίων 6.000 ετών θεωρείται κοινά αποδεκτό πως δεν έχει ξεπεράσει τα σημερινά όρια (Παπανικολάου κ.α. 2011). Μάλιστα ενώ από την έναρξη του Ολόκαινου (11,5 ka) η στάθμη της παρουσίαζε αύξηση που οφειλόταν σε παγετωνοευστατικούς παράγοντες τα τελευταία 5000 - 3000 χρόνια αυτή εξασθένησε και η στάθμη σχεδόν σταθεροποιήθηκε καθώς κυριάρχησε μια ανακατανομή του θαλάσσιου νερού ενώ το λιώσιμο των πάγων συνέβαλε ελάχιστα (~1 μέτρο) στην άνοδο της στάθμης (Παπανικολάου κ.α (2011) από: Möner (1996, 2005), Lambeck (1995) και Lambeck and Bard (2000)).

Σε σχετική έκθεση αναφέρεται η εκτίμηση ότι στην περιοχή της Μεσογείου η φαινομενική Α.Σ.Θ. εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη μετακίνηση της ξηράς. Έτσι, αφού στο μεγαλύτερο μέρος της Μεσογείου δεν παρατηρούνται τα τελευταία χρόνια ανοδικές/ καθοδικές μετακινήσεις της ξηράς, η Α.Σ.Θ. στην περιοχή αναμένεται να είναι κάπως μικρότερη από την παγκόσμια λόγω κυρίως της μορφολογίας της (Α.Σ.Θ. περίπου 50 cm μέχρι το 2100). Αν αυτό το σενάριο επαληθευτεί, τότε μόνο μερικές παραθαλάσσιες περιοχές μπορεί να εξαφανιστούν λόγω εισχώρησης της θάλασσας στη ξηρά ή λόγω διάβρωσης του εδάφους, ενώ παράλληλα η αλατότητα του νερού των ποταμών και του υδροφόρου ορίζοντα κοντά στη θάλασσα μπορεί να αυξηθεί (Karas 1998).

Οι κύριες περιοχές της Μεσογείου όπου λόγω σταδιακής καθίζησης αναμένεται να εμφανίσουν το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι το Δέλτα του Νείλου, η Βενετία και η Θεσσαλονίκη σε αυτές ενισχύεται η Α.Σ.Θ. το λιγότερο μιάμιση φορά περισσότερο από τις υπόλοιπες.

Ακολουθεί μια βιβλιογραφική ανασκόπηση στις κυριότερες επιστημονικές εργασίες που είχαν ως αντικείμενο την μεταβολή της Σ.Θ. σε Μεσογειακό επίπεδο από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα και ύστερα (Πίνακας 1.12).

- Το 2008 έρευνα που συγκέντρωσε τις παρατηρήσεις από 21 σταθμούς με μετρήσεις της Σ.Θ. στην Μεσόγειο για πάνω από 35 έτη, κατέληξε στους έξι σταθμούς που είχαν δεδομένα για πάνω από 90 έτη για τον 20^ο αιώνα και υπολόγισε πως ο ρυθμός ανόδου ήταν 1,2 - 1,5 ($\pm 0,1$) mm/ έτος (Marcos and Tsimplis 2008).
- Το 2011 έρευνα που χρησιμοποίησε 14 παλιρροιογράφους και χρονοσειρές της περιόδου 1970 - 2002 και το μοντέλο κυκλοφορίας της θάλασσας NEMOMED8 για την Μεσόγειο, αποφάνθηκε πως ο ρυθμός ανόδου την περίοδο 1970 - 2006 ήταν 1,4 mm/ έτος (Meysignac et al. 2011).

- Σε έρευνα του 2011 με επανεπεξεργασία των στοιχείων από σταθμηγράφους της Μεσογείου και με αλλαγή στον μαθηματικό υπολογισμό του σφάλματος, υπολογίστηκε για το διάστημα 1992 - 2008 ένα ρυθμός ανόδου της τάξης 1,9 mm/ έτος με εύρος διακύμανσης $\pm 0,4$ mm/ έτος (Calafat and Jordà 2011).
- Το 2012 νέα έρευνα συνυπολόγισε τις παρατηρήσεις από τους σταθμηγράφους, δορυφορικά δεδομένα και τις τεκτονικές κινήσεις της Μεσογείου για να καταλήξει πως ο ρυθμός ανόδου της στάθμης για την περίοδο 1948 - 2000 ήταν 0,6 mm/ έτος με εύρος διακύμανσης 0,1 mm/ έτος και για την περίοδο 1961 - 2000 ήταν 0,2 mm/ έτος με εύρος διακύμανσης 0,1 mm/ έτος (Gomis et al. 2012).
- Το 2013 σε έρευνα για την προσομοίωση της στάθμης χρησιμοποιήθηκαν φυσικοχημικές μεταβλητές, κλιματικές και υδρολογικές όπως η κυκλοφορία του θαλάσσιου νερού και οι απορροές των ποταμών. Για την περίοδο 1993 - 2000 η μελέτη εκτίμησε πως η Α.Σ.Θ. στην Μεσόγειο ήταν της τάξης 2,8 mm/ έτος με εύρος διακύμανσης 0,5 mm/ έτος (Tsimplis et al. 2013).
- Το 2016 έρευνα που χρησιμοποίησε δεδομένα σταθμηγράφων και δορυφορικά δεδομένα για την περίοδο 1993 - 2012 υπολόγισε άνοδο με ρυθμό 2,44 mm/ έτος με εύρος διακύμανσης $\pm 0,5$ mm/ έτος (Bonaduce et al. 2016).

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό πως η Α.Σ.Θ. γίνεται για το πρόσφατο παρελθόν στην Μεσόγειο με μικρότερο ρυθμό από τον παγκόσμιο που αναφέρθηκε πιο πάνω (Gomis et al. 2012) ενώ η ίδια τάση χαρακτηρίζει και τις εκτιμήσεις για την μελλοντική στάθμη.

Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στο γεγονός πως η Μεσόγειος είναι μια κλειστή θάλασσα που επικοινωνεί με τους ωκεανούς από το στενό του Γιβραλτάρ, την διώρυγα του Σουέζ και με άλλες θάλασσες από τα στενά των Δαρδανελίων κάτι που επιβραδύνει την επίδραση στην περιοχή από την τήξη των πάγων.

Πίνακας 1.12 Βιβλιογραφική επισκόπηση ρυθμού Α.Σ.Θ. στην Μεσόγειο (Ίδια επεξεργασία)

<u>Χρονική περίοδος:</u>	<u>Ρυθμός μεταβολής ΘΑ:</u>	<u>Πηγή προέλευσης δεδομένων:</u>
1900 - 2000	1,2 - 1,5 \pm 0,1 mm/ year	Marcos and Tsimplis 2008
1970 - 2006	1,4 mm/ year	Meysignac et al. 2011
1992 - 2008	1,9 \pm 0,4 mm/ year	Calafat and Jordà 2011
1948 - 2000	0,6 \pm 0,1 mm/ year	Gomis et al. 2012
1961 - 2000	0,2 \pm 0,1 mm/ year	Gomis et al. 2012
1993 - 2010	2,8 \pm 0,5 mm/ year	Tsimplis et al. 2013
1993 - 2012	2,44 \pm 0,5 mm/ year	Bonaduce et al. 2016

Για την Μεσόγειο θάλασσα ωστόσο είναι σημαντικό να ειπωθεί ότι παρατηρούνται διαφοροποιήσεις μεταξύ της Δυτικού και Ανατολικού τμήματος, όπως αυτές καταγράφονται από δορυφορική υψομετρία.

Σε σχετική έρευνα του το E.A.A. είχε υποστηρίξει διαφοροποίηση μεταξύ Ανατολικού και Δυτικού τμήματος, με τρία από τα εννέα μοντέλα να εκτιμούν 17% μικρότερη άνοδο για το Ανατολικό τμήμα το 2100 (Ακύλας κ.α. (2005) από Gregory et al. (2004)) κάτι που δεν ξεφεύγει από τον γενικότερο κανόνα με βάση τον οποίο πιστεύεται ότι η Ανατολική Μεσόγειος θα έχει μικρότερη άνοδο από την Δυτική.

Τα παραπάνω υποστηρίζονται και αιτιολογούνται από τους ερευνητές με βάση το γεγονός ότι η Ανατολική Μεσόγειος καταγράφει την Α.Σ.Θ. πιθανότατα εξαιτίας αυξημένων κατακρημνίσεων από την Ανατολική Ευρώπη και της σύνδεσης της με την Μαύρη Θάλασσα, σε αντίθεση με την Δυτική η οποία επηρεάζεται περισσότερο από την ανταλλαγή θαλάσσιων μαζών με τον Ατλαντικό ωκεανό.

Η Ανατολική Μεσόγειος θεωρείται επίσης ότι επηρεάζεται κυρίως από μεταβολές στις κατακρημνίσεις και στην εξάτμιση (Παπανικολάου κ.α. 2011).

Σε ότι αφορά τις προβλέψεις για την μεταβολή της στάθμης στην Μεσόγειο δεν είναι πολλές εκείνες την ερευνούν ενιαία, αλλά περισσότερες εκείνες που εστιάζουν σε έρευνα κατά τόπους. Οι κυριότερες έρευνες που εκτιμούν την μεταβολή της στάθμης για την Μεσόγειο ενιαία περιγράφονται παρακάτω (Πίνακας 1.13).

- Το 1997 σε συνολική έκθεση για την Greenpeace με αντικείμενο την κλιματική αλλαγή στην Μεσόγειο, για το 2100 η μέση Α.Σ.Θ. αξιωνόταν στα 0,96 m (Karras 1997 από: Milliman 1992 και Warrick 1996).
- Το 2005 σε έρευνα του E.A.A. που προαναφέρθηκε υιοθετήθηκε εκτίμηση για Α.Σ.Θ. στην Μεσόγειο κατά το 2100 στα 0,6 m.
- Το 2008 σε έρευνα που εφάρμοσε μοντέλο ατμοσφαιρικής και θαλάσσιας προσομοίωσης για την λεκάνη της Μεσογείου και παραμετροποίησε τις ανατροφοδοτήσεις από τον Ατλαντικό, την Μαύρη Θάλασσα και τις απορροές των ποταμών εκτιμήθηκε για την περίοδο 2070 - 2099 άνοδος 0,35 m (Tsimplis et al. 2008).
- Το 2013 σε πρόγραμμα που υλοποίησε η E.E. για την επερχόμενη κλιματική αλλαγή ανέπτυξε μοντέλο κλιματικής προσομοίωσης της Μεσογείου το οποίο για την περίοδο 2021 - 2050 προβλέπει άνοδο της στάθμης κατά 0,07 - 0,13 m (Gualdi et al. 2013).
- Το 2013 σε έρευνα που χώριζε την Μεσόγειο σε οκτώ υπολεκάνες, με διαφορετικό συντελεστή βάρους στην καθεμία, υπολόγιζε την άνοδο της στάθμης για την περίοδο 2040 - 2050 από το άθροισμα της τήξης των ηπειρωτικών πάγων, των ισοστατικών μεταβολών

και την διαφοροποίηση στο ισοζύγιο της κυκλοφορίας του νερού με τον Ατλαντικό και την Μαύρη θάλασσα, στα 0,098 - 0,256 m (Galassi G. and Spada G. 2014).

- Τέλος το 2015 χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο για τα θαλάσσια ρεύματα της Μεσογείου η πρόβλεψη για την περίοδο 2070 - 2099 για άνοδο της στάθμης με περίοδο βάσης το 1961 - 2000 και με συνυπολογισμό των παραμέτρων που αγνοούσε το μοντέλο ήταν εύρους 0,49 - 0,79 m (Adloff et al. 2015).

Πίνακας 1.13 Πίνακας μελλοντικών εκτιμήσεων μέσης στάθμης της θάλασσας στην Μεσόγειο (Ιδια επεξεργασία)

<u>Χρονική περίοδος:</u>	<u>Θέση ΘΑ:</u>	<u>Πηγή προέλευσης δεδομένων:</u>
2100	+ 0,96 m	Karras 1997 από Milliman 1992 και Warrick 1996
2100	+0,6 m	Ακύλας κ.α. 2005 από Gregory et al. 2004
2070 - 2099	+ 0,35 m	Tsimplis et al. 2008
2021 - 2050	+ 0,07 - 0,12 m	Gualdi et al. 2013
2040 - 2050	+ 0,098 - 0,256 m	Galassi G. and Spada G. 2014
2070 - 2099	+ 0,49 - 0,79 m	Adloff et al. 2015

1.3.5 Α.Σ.Θ. στην Ελλάδα

1.3.5.1 Ελληνική Ακτογραμμή

Η ελληνική παράκτια ζώνη διαθέτει αρκετές ιδιαιτερότητες οι κυριότερες από τις οποίες περιγράφονται παρακάτω.

Η Ελλάδα διαθέτει μια ακτογραμμή άνω των 16.200 χιλιομέτρων. Σχεδόν η μισή παράκτια ζώνη καταγράφεται στην ηπειρωτική Ελλάδα, ενώ η υπόλοιπη στα 3.000 νησιά (ή 9.800 αν συμπεριληφθούν οι βραχώδεις σχηματισμοί). Οι 12 από τις 13 περιφέρειες της ελληνικής επικράτειας καταγράφονται ως παράκτιες περιοχές. Τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο, Καβάλα, Βόλος) χωροθετούνται στην παράκτια ζώνη.

Το 80% των βιομηχανικών δραστηριοτήτων, το 90% του τουρισμού και των δραστηριοτήτων αναψυχής, το 35% της αγροτικής γης (συνήθως υψηλής παραγωγικότητας), η αλιεία και οι υδατοκαλλιέργειες, αλλά και ένα σημαντικό μέρος των υποδομών (λιμάνια, αεροδρόμια, δρόμοι, ηλεκτρικό και τηλεπικοινωνιακό δίκτυο κ.ά.), ασκούνται στην παράκτια ζώνη. Η συνολική αστικοποιημένη περιοχή της παράκτιας ζώνης εκτιμάται ότι ισούται με 1,315 km², αντιπροσωπεύοντας το 1,31% της συνολικής έκτασης της Ελλάδας.

Το 33% του ελληνικού πληθυσμού κατοικεί σε παράκτιες περιοχές που απέχουν 1 - 2 km. από την ακτή, ενώ, εάν ως παράκτιος πληθυσμός θεωρηθεί αυτός που κατοικεί σε απόσταση έως και 50 km. από την ακτή, τότε το ποσοστό του παράκτιου πληθυσμού εκτιμάται στο 85% του συνολικού (ΕΜΕΚΑ 2011) ενώ η εκτιμώμενη τάση είναι σταθερά ανοδική ((Πετρέλης 2012 από Ρόκος (1982)).

1.3.5.2 Βιβλιογραφική επισκόπηση Α.Σ.Θ.

Ειδικά στην Ελλάδα, μια χώρα γνωστή για την έντονη επίδραση της ενεργού τεκτονικής, παρατηρούνται τοπικές συνθήκες ανύψωσης - βύθισης λόγω τεκτονισμού σε συγκεκριμένα ρηξιτεμάχη - περιοχές. Χαρακτηριστικό είναι ότι πριν και μετά από μεγάλους σεισμούς έχουμε συν/πλην ένα μέτρο κατακόρυφες κινήσεις, οι οποίες φυσικά παρατηρούνται και στις ακτές ή λίμνες (π.χ. σεισμοί Περαχώρας 1981, Κοζάνης 1995, κτλ.). Επομένως, κατά τις εκτιμήσεις μεταβολής της Σ.Θ. απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή διότι η ευστατική μεταβολή μπορεί να υπερκαλύπτεται από την τεκτονική μεταβολή. Αυτό παρατηρείται κυρίως στο μέτωπο του τόξου στο Ιόνιο, την Κρήτη, τα Δωδεκάνησα και λιγότερο στο Βόρειο Αιγαίο (Παπανικολάου κ.α., 2011).

Τέλος μπορεί κανείς να ισχυριστεί πως για τον Ελλαδικό χώρο και τις ακτές πιο αντιπροσωπευτικές κρίνονται οι έρευνες Α.Σ.Θ. που εστιάζονται στην Ανατολική Μεσόγειο στην οποία όπως προαναφέρθηκε η άνοδος της στάθμης που θα επέλθει, θα είναι και μικρότερη από την από την Δυτική Μεσόγειο και φυσικά μικρότερη από τις παγκόσμιες προβλέψεις. Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφική επισκόπηση, δημιουργήθηκε ο Πίνακας 1.14 με τις σημαντικότερες εργασίες που περιέχουν αναφορά και στοιχεία είτε για τον ρυθμό μεταβολής της στάθμης στο παρελθόν είτε μελλοντικές εκτιμήσεις για την εξέλιξη του ρυθμού.

Πίνακας 1.14 Βιβλιογραφική επισκόπηση Α.Σ.Θ. στην περιοχή μελέτης (Ίδια επεξεργασία)

Χρονική περίοδος:	Θέση ΘΑ:	Ρυθμός μεταβολής ΘΑ:	Πηγή προέλευσης δεδομένων:
1969 - 1983		+ 5,7 ± 1,0 mm/ year	Flemming and Woodworth 1988
1973 - 2000		+ 4,7 mm/ year	Ακύλας κ.α. 2005 από PSMSL 2004 και Woodworth and Player 2003
1985 - 2000		+ 7,3 mm/ year	Ακύλας κ.α. 2005 από PSMSL 2004 και Woodworth and Player 2003
1985 - 2001		+ 0,6 ± 1,0 mm/ year	Marcos and Tsimplis 2008
1993 - 2012		+ 3,77 ± 0,114 mm/ year ¹⁵	Bonaduce et al. 2016
1993 - 2012		+ 2,21 ± 0,0816 mm/ year ¹⁵	Bonaduce et al. 2016
1992 - 2014		+ 3 - 4 mm/ year	E.E.A. 2016
2081 - 2100	> + 0,4 m		E.E.A. 2016

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα:

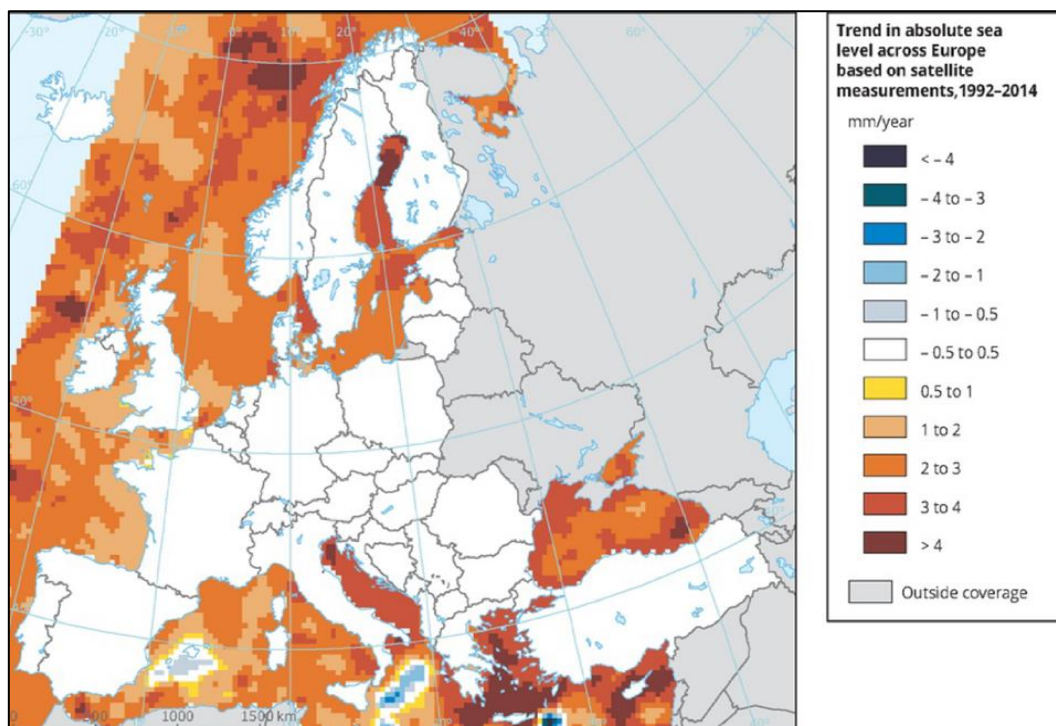
- Το 1988 σε έρευνα που έγινε για τον ετήσιο κύκλο των μεταβολών της Σ.Θ. στην Ελλάδα, από 16 σταθμηγράφους υπολογίστηκε και για την περίοδο 1969 -1983 ο ρυθμός μεταβολής,

¹⁵ από δεδομένα σταθμηγράφου (tide gauge)

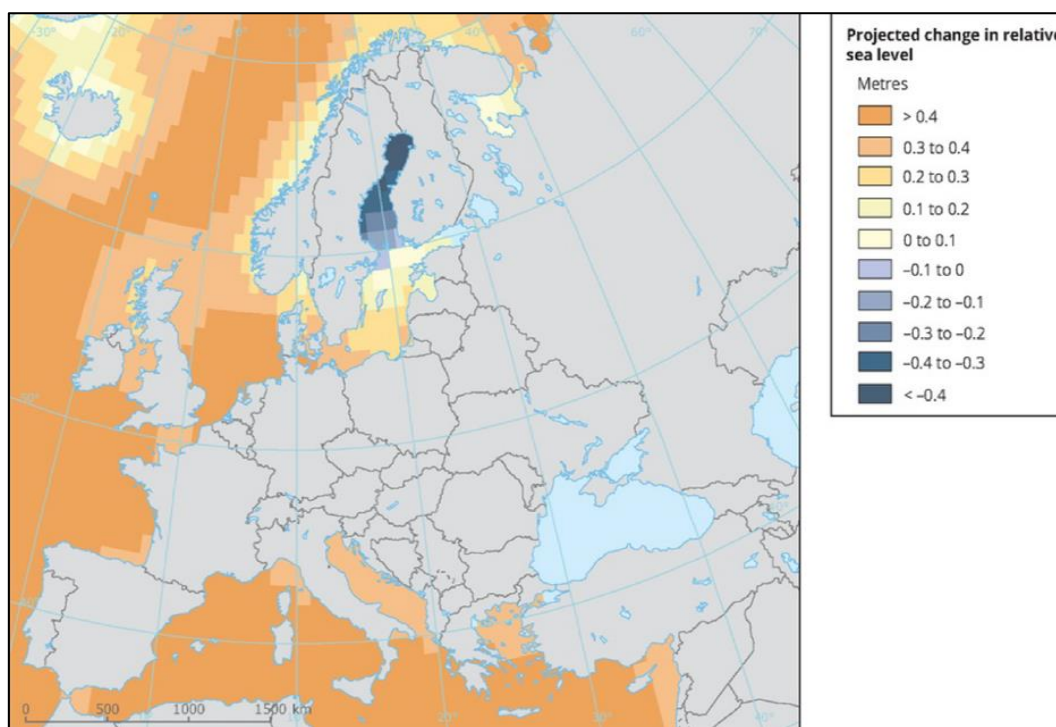
¹⁵ από δορυφορικά δεδομένα (satellite altimetry)

ο οποίος για την Μεσσηνία ήταν ανοδικός με 5,7 mm/ έτος και εύρος διακύμανσης $\pm 1,0$ mm/ έτος (Flemming and Woodworth 1988).

- Το 2005 σε έρευνα του Ε.Α.Α. για τις κλιματικές μεταβολές στον Ελλαδικό χώρο χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τη Βρετανική υπηρεσία Permanent Service for Mean Sea Level - PSMSL, η οποία για την Καλαμάτα και την περίοδο 1973 -2000 έδινε άνοδο με ρυθμό 4,7 mm/ έτος και κατά την ακόμα πιο πρόσφατη περίοδο 1985 - 2000 άνοδο με ρυθμό 7,3 mm/ έτος (Ακύλας κ.α. 2005, από: PSMSL 2004 και Woodworth and Player 2003).
- Σε έρευνα του 2008 που προαναφερθήκαμε και η οποία υπολόγισε τον μέσο ρυθμό μεταβολής της στάθμης στην Μεσόγειο από σταθμούς μέτρησης, υπήρξαν και 47 παραπλήσιοι σταθμοί με αξιόπιστα δεδομένα για πάνω από επτά έτη. Ένας από αυτούς τους σταθμούς ήταν της Καλαμάτας και για το 1985 - 2001 κατέγραφε άνοδο ρυθμού 0,6mm/ έτος με εύρος διακύμανσης $\pm 1,0$ mm/ έτος (Marcos and Tsimplis 2008).
- Το 2016 σε έρευνα στην οποία προαναφερθήκαμε και εκτίμησε τον ρυθμό ανόδου για την Μεσόγειο είχε αναλύσει δεδομένα σταθμηγράφου και δορυφορικά για την Καλαμάτα. Συγκεκριμένα για την περίοδο 1993 - 2012 από τα δεδομένα του σταθμηγράφου εξήχθη ρυθμός ανόδου 3,77 mm/ έτος, με εύρος διακύμανσης $\pm 0,1$ mm/ έτος και από τα δορυφορικά δεδομένα για την ίδια περίοδο 2,21 mm/ έτος με εύρος διακύμανσης $\pm 0,08$ mm/ έτος.
- Το 2016 επίσης, σε άλλη έρευνα που εκτίμησε από τα δορυφορικά δεδομένα του προγράμματος Copernicus (Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Θαλάσσιων Ερευνών), τον ρυθμό μεταβολής της στάθμης, σε όλη την παράκτια Ευρώπη και όχι μόνο στην Μεσόγειο, κατέληξε για την περίοδο 1992 - 2014, σε ρυθμό ανόδου τρία - τέσσερα mm/ έτος στο Ιόνιο πέλαγος και τον Μεσσηνιακό κόλπο που αποτελούν την θάλασσα της Μεσσηνίας (Σχήμα 1.14, Ε.Ε.Α. 2016). Ακόμα η ίδια έρευνα χρησιμοποιώντας το σενάριο R.C.P.4.5 της IPCC 2013 στο μοντέλο κλιματική προσομοίωσης CMIP5 και με περίοδο βάσης 1986 - 2005, εκτίμησε για το 2081 - 2100 άνοδο περίπου πάνω από 0,4 m (Σχήμα 1.15, Ε.Ε.Α. 2016).



Σχήμα 1.14 Τάσεις μεταβολής μέσης Σ.Θ. της Ευρώπης με βάση δορυφορικά δεδομένα για την περίοδο 1992 - 2014 (E.E.A. 2016)



Σχήμα 1.15 Προβλεπόμενη μεταβολή μέσης στάθμης θάλασσας στην Ευρώπη για την περίοδο 2081 - 2100 με περίοδο βάσης 1986 - 2005 με βάση την εφαρμογή του σεναρίου R.C.P.4.5 της IPCC 2013 στο μοντέλο κλιματική προσομοίωσης CMIP5 (E.E.A. 2016)

✓ Ανακεφαλαιώνοντας:

1. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, η Σ.Θ. ανέρχεται παγκοσμίως καθόλη την διάρκεια του 20^{ου} αιώνα και θα συνεχίσει να ανέρχεται στον 21^ο αποδεδειγμένα.
2. Η Μεσόγειος χαρακτηρίζεται από Α.Σ.Θ. κατά 25% μικρότερη από την παγκόσμια για τον 20^ο αιώνα και κατά 20% μικρότερη από την παγκοσμίως προσδοκώμενη για τον 21^ο.

3. Η Ανατολική Μεσόγειος, όπου εντάσσεται η περιοχή μελέτης, χαρακτηρίζεται από μικρότερη Α.Σ.Θ. γενικότερα.
4. Στην βιβλιογραφική ανασκόπηση για την περιοχή μελέτης, η Α.Σ.Θ. είναι ίδια με την παγκόσμια για την τελευταία 20ετία. Ωστόσο εκτιμάται μικρότερη κατά 37% από την Α.Σ.Θ. για το 2100 για όλη την Μεσόγειο και 50% μικρότερη από την εκτιμώμενη για τον κόσμο όπως και αναμενόταν.

1.3.5.3 Διάβρωση ελληνικών ακτών

Σε ότι αφορά τον ρυθμό απώλειας ή διάβρωσης της ελληνικής ακτογραμμής δεν εντοπίστηκε στην ελληνική και ξενόγλωσση βιβλιογραφία έρευνα που να αναφέρεται στην περίπτωση της περιοχής μελέτης (Π.Ε. Μεσσηνίας) εκτεταμένα ή συνολικά. Ακόμη δεν εντοπίστηκε έρευνα που να έχει γενικό ρυθμό απώλειας ή διάβρωσης για την Ελλάδα. Αντιθέτως υπάρχουν έρευνες που αποδίδουν αυτούς ρυθμούς κατά τόπους και για τις δυο άνω περιπτώσεις. Ο Δουκάκης (2007), σε εκτεταμένη έρευνα που περιλάμβανε παράκτιες περιοχές από όλη την Ελλάδα, οι οποίες συνολικά προσέγγιζαν τα 2000 km από τα συνολικά 16000 km της χώρας, υπολόγισε ότι ο μέσος ρυθμός διάβρωσής τους λίγο μεγαλύτερος από 1 mm/ έτος. Το ανωτέρω γεγονός δεν σημαίνει πως αυτός είναι ο μέσος ρυθμός απώλειας της Ελληνικής ακτογραμμής. Ωστόσο σημαίνει πως όσες παράκτιες περιοχές αποδειχτεί ότι έχουν ρυθμό απώλειας > 1 mm/ έτος εκτίθενται σε κίνδυνο. Και ο κίνδυνος έχει να κάνει με απώλεια εδαφών, εγκαταστάσεων και περιουσιών που βρίσκονται κοντά στην ακτογραμμή σε έναν χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης έως το 2050 ή το 2100.

1.3.5.4 Τρωτότητα ακτών

Πιο εκτεταμένα από την εξαγωγή ρυθμού διάβρωσης ή απώλειας ακτογραμμής στην βιβλιογραφία, εντοπίστηκε ο χαρακτηρισμός του βαθμού τρωτότητας των ακτών ή απόπειρες για ανάπτυξη και βελτίωση τέτοιων δεικτών. Η έννοια του δείκτη παράκτιας τρωτότητας (Coastal Vulnerability Index, CVI) αναπτύχθηκε ως μια μορφή σύντομης, εύχρηστης και αξιόπιστης εκτίμησης της τρωτότητας των ακτών. Οι πιο απλές μορφές δεικτών εξετάζουν την εκτίμηση μόνο της φυσικής τρωτότητας, ενώ οι πιο πολύπλοκες περιλαμβάνουν τις επιπτώσεις σε τομείς όπως η κοινωνία, η οικονομία, η οικολογία, ο πολιτισμός κ.ά. (Κόκκινος et al., 2014 από Doukakis 2005). Η πιο κλασσική μορφή, η οποία έχει εξελιχθεί πλέον, προτείνει έναν CVI που περιλαμβάνει έξι φυσικές παραμέτρους για την ποσοτικοποιημένη εκτίμηση της τρωτότητας με εφαρμογή σε παγκόσμια κλίμακα. Η μέθοδος απαιτεί χρήση αριθμητικών δεδομένων που δεν μπορούν να εξισωθούν άμεσα με συγκεκριμένες φυσικές διεργασίες, παρ' όλα αυτά μπορεί ο συνδυασμός των δεδομένων να υποδείξει τις περιοχές, όπου τα διάφορα επικίνδυνα φαινόμενα, κυρίως σε σχέση με την Κλιματική Αλλαγή, μπορεί να είναι αξιοσημείωτα. Αφού αποδοθούν τιμές για κάθε παράμετρο της ανάλυσης στην υπό μελέτη ακτή ο

CVI υπολογίζεται ως η τετραγωνική ρίζα του λόγου του γεωμετρικού μέσου (γινομένου) των καταταγμένων μεταβλητών προς το πλήθος τους, ως εξής:

$$CVI = \sqrt{\frac{(a * b * c * d * e * f)}{6}}$$

Όπου:

a: Παράκτια Κλίση

b: Σχετική Μεταβολή της Στάθμης της Θάλασσας

c: Ιστορική Μετατόπιση της

d: Ακτογραμμής Γεωλογία και Παράκτιες Γεωμορφές

e: Μέσο Σημαντικό Ύψος Κύματος

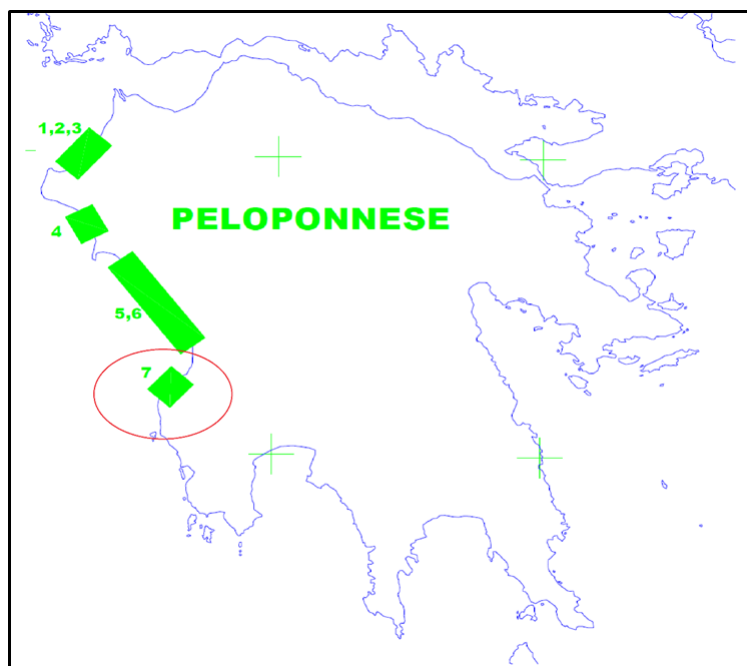
f: Μέσο Παλιρροιακό Εύρος

Πίνακας 1.15 Δείκτης παράκτιας τρωτότητας κατά Gornitz et al. 1997

CVI:	[0 - 25)	[25 - 50)	[50 - 75)	[75 - 100)
Χαρακτηρισμός Τρωτότητας:	<i>Χαμηλή</i>	<i>Μέση</i>	<i>Υψηλή</i>	<i>Πολύ Υψηλή</i>

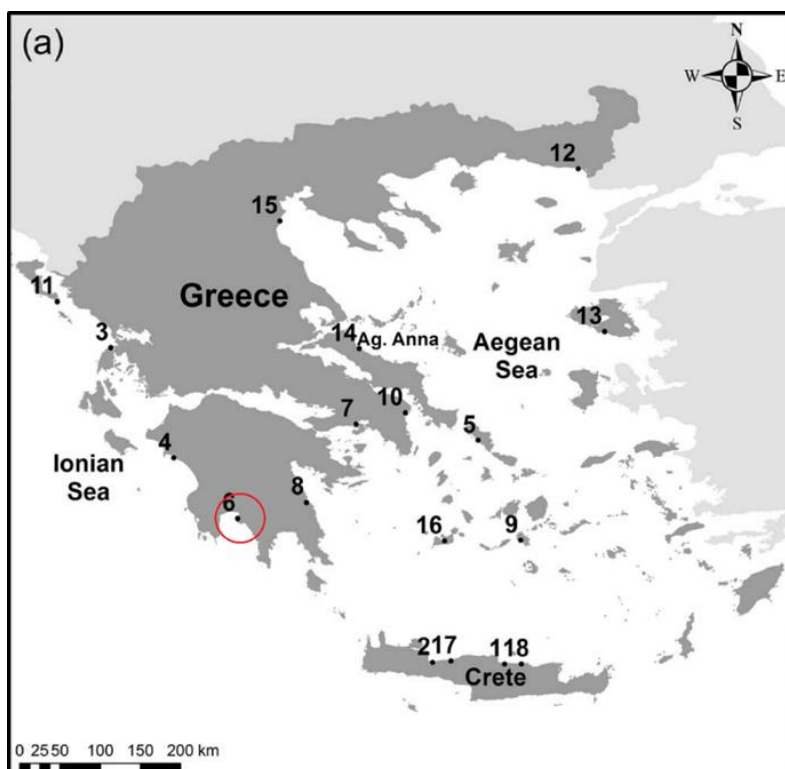
Οι παραπάνω τιμές παρατίθενται για ενδεικτικούς σκοπούς. Στην πράξη οι δείκτες τρωτότητας παίρνουν τιμές μικρότερες του θεωρητικού εύρους 0 - 100 και οι χαρακτηρισμοί της τρωτότητας τους ακολουθούν μικρότερες τιμές αντίστοιχα.

Σε έρευνα για την Δυτική Πελοπόννησο δυο παραλίες μήκους 6,2 και 3,1 km του νοτίου Κυπαρισσιάκου κόλπου όπου υπάρχει ο σχηματισμός των αμμοθινών (παραλία «Navarino Dunes») έχουν χαρακτηριστεί ως μετρίου τρωτότητας CVI να παίρνει τιμές 17,6 και 22,8 αντίστοιχα (Σχήμα 1.16) (Doukakis 2005).



Σχήμα 1.16 Αξιολόγηση παράκτιας τρωτότητας Πελοποννήσου με τον δείκτη CVI (Doukakis 2005)

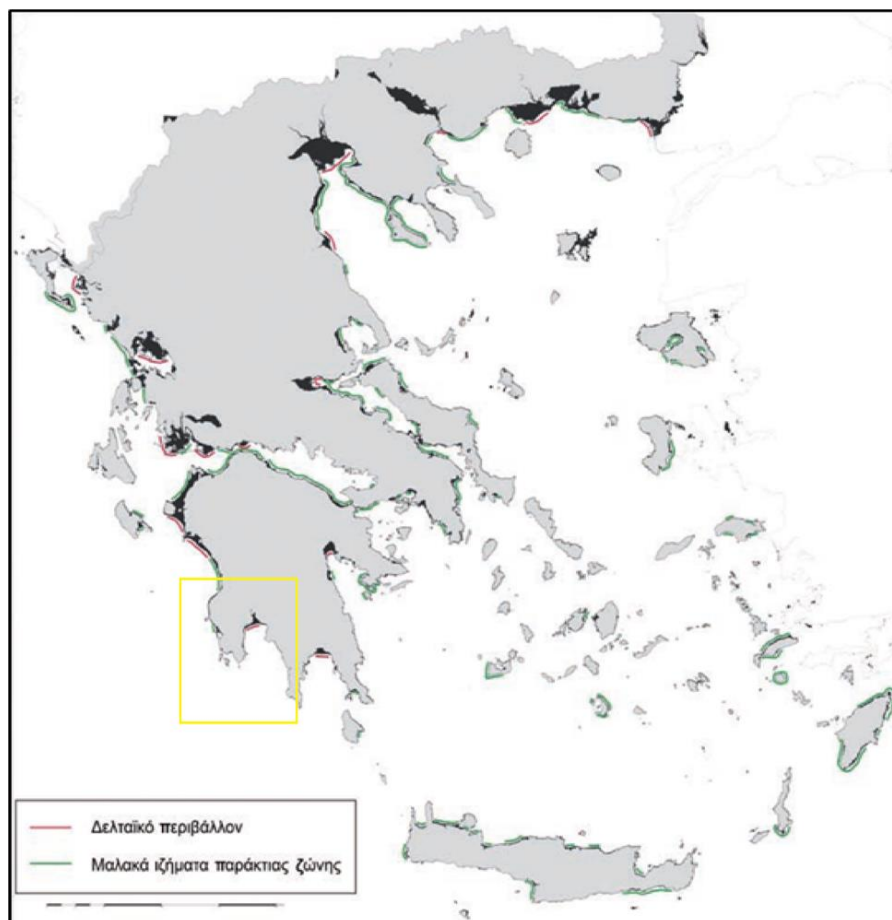
Το 2014 σε έρευνα για την τρωτότητα των παραλιών ερευνητές ανέπτυξαν αποκλειστικά για αυτές τον δείκτη BVI (Beach Vulnerability Index), και χαρακτήρισαν μεταξύ άλλων την παραλία της Σάντοβας, στις δυτικές ακτές της Καλαμάτας, ως υψηλούς τρωτότητας με τιμή 42,71 (εύρος τιμών 0 - 100) (Σχήμα 1.17) (Alexandrakis and Poulos 2014).



Σχήμα 1.17 Σταθμοί έρευνας για την τρωτότητα των Ελληνικών ακτών μεταξύ των οποίων και η Σάντοβα Μεσσηνίας (Alexandrakis and Poulos 2014)

Σε άλλη σχετικά πρόσφατη έρευνα οι παράκτιες περιοχές της Ελλάδος κατηγοριοποιήθηκαν βάση την τρωτότητά τους σε τρεις κύριες ζώνες, χωρίς την χρήση δείκτη ως ανωτέρω και με πιο έντονο το γεωλογικό και μορφολογικό κριτήριο (ΕΜΕΚΑ 2011):

1. Δελταϊκές. Συμβολίζονται με χρώμα κόκκινο και αφορούν παράκτιες περιοχές απόθεσης με χαλαρά μη συνεκτικά ιζήματα, μικρού απόλυτου υψομέτρου και μεγάλης τρωτότητας στην Α.Σ.Θ.
2. Νεογενών και Τεταρτογενών “μαλακών” ιζημάτων. Συμβολίζονται με πράσινο χρώμα και αφορούν ζώνες οπισθοδρομούσας διάβρωσης των ακτών. Πρόκειται για παράκτιες περιοχές με συνήθως μικρό υψόμετρο, στις οποίες αναμένονται μέτριες επιπτώσεις, με χαρακτηρισμό μέτριας τρωτότητας.
3. Βραχώδεις. Αφορούν κυρίως αλπικά πετρώματα χαμηλής τρωτότητας στη διάβρωση και στην κατάκλυση από την Α.Σ.Θ. και εκτείνονται στις υπόλοιπες ακτογραμμές, χωρίς ιδιαίτερη χρωματική διαγράμμιση.



Σχήμα 1.18 Ζώνες παράκτιας τρωτότητας στην Ελλάδα (ΕΜΕΚΑ 2011)

Η Π.Ε. Μεσσηνίας έχει Δελταϊκές αποθέσεις στην περιοχή που εκβάλει ο ποταμός Πάμισος στον Μεσσηνιακό κόλπο. Όπως και νεογενή τεταρτογενή μαλακά ιζήματα στην περιοχή της Βοϊδοκοιλιάς

και στον νότιο Κυπαρισσιακό κόλπο από τις εκβολές του ποταμού Νέδα και νοτιότερα ως τον οικισμό καλό νερό πριν την Κυπαρισσία (Σχήμα 1.18).

Σε ότι αφορά τους ρυθμούς τεκτονικής μεταβολής που επηρεάζουν την Σ.Θ., για την περιοχή μελέτης από την βιβλιογραφική ανασκόπηση προέκυψαν τα παρακάτω (Πίνακας 1.16).

Το 1995 σε έρευνα διαχωρισμού των παραγόντων που συντελούν στην άνοδο της Σ.Θ. εκτιμήθηκε πως οι δυτικές ακτές του Λακωνικού κόλπου έχουν έναν ρυθμό τεκτονικής καθίζησης 0,8 - 1,5 mm/ έτος. Το σημαντικότερο στοιχείο που επηρεάζει την άνοδο της στάθμης στην περιοχή μελέτης είναι πως στην ίδια εργασία για την Μεσσηνιακή Μάνη, περιοχή του Μεσσηνιακού κόλπου παρατηρήθηκε τεκτονική ανύψωση της ακτής με ρυθμό + 0,6 mm/ έτος (Lambeck 1995).

Το 2007 σε γεωλογική έρευνα για τον Κυπαρισσιακό κόλπο εκτιμήθηκε πως η ακτές του βρίσκονται σε τεκτονική ανύψωση με ρυθμό 0,18 - 0,5 mm/ έτος (Papanikolaou et al. 2007).

Συμπερασματικά μπορούμε να ισχυριστούμε πως η τεκτονική ανύψωση στην οποία υπόκεινται οι ακτές της Μεσσηνίας αναμένεται να αμβλύνει τις επιπτώσεις από την επερχόμενη Α.Σ.Θ. αν και το φαινόμενο δεν θα πρέπει να αποκόπτεται από τους υπόλοιπους παράγοντες που προκαλούν απώλεια της ακτογραμμής όπως τα ακραία καιρικά φαινόμενα που αναμένεται να ενταθούν κ.α.

Πίνακας 1.16 Ρυθμός τεκτονικής μεταβολής στην περιοχή μελέτης

<u>Περιοχή:</u>	<u>Ρυθμός μεταβολής ΘΑ:</u>	<u>Πηγή προέλευσης δεδομένων:</u>
Κυπαρισσιακός κόλπος	+ 0,18 - 0,5 mm/ year	Papanikolaou et al. 2007
Μεσσηνιακή Μάνη	+ 0,6 mm/ year	Lambeck 1995
Δυτικές πλευρές Λακωνικού κόλπου	-0,8 - 1,5 mm/ year	Lambeck 1995

Ενώ απλοποιημένα μπορούμε να πούμε πως η θέση και το ύψος της θάλασσας σχετικά με την ξηρά (σχετική Σ.Θ.) καθορίζουν τη θέση της ακτογραμμής είναι σημαντικό να δούμε την σχέση ακτογραμμής και Σ.Θ. πιο αναλυτικά.

Η παράκτια διάβρωση ορίζεται σαν την μακροπρόθεσμη απώλεια υλικών δια μήκος της ακτογραμμής με σημείο αναφοράς την αρχική της θέση (Basco, (1999) από Νικολάου (2011)). Το φαινόμενο συνοδεύεται πάντα με μετατοπίσεις της ακτογραμμής και απώλεια εδάφους.

Αυτό που θα πρέπει να γίνει κατανοητό είναι ότι η παράκτια διάβρωση είναι μια μεν φυσική διαδικασία και όχι μια φυσική καταστροφή και μπορεί να επιταχύνεται από την δραστηριότητα των κοινωνιών.

Αντιμετωπίζεται κατά κύριο λόγο ως φυσική καταστροφή από τους ανθρώπους επειδή προκαλεί προβλήματα στις υποδομές των παράκτιων περιοχών (Δουκάκης (2005) από Νικολάου (2011)).

Βέβαια ο βαθμός διάβρωσης των ακτών δεν είναι παντού ο ίδιος αλλά εξαρτάται από πολλούς τοπικούς παράγοντες, όπως (Νικολάου (2011) από Δουκάκης (2005) και ΕΜΕΚΑ (2011)):

- Η τοπογραφία της ακτής (ακτή σε κόλπο ή στην ανοιχτή θάλασσα)
- Η γεωλογία της ακτής και η λιθολογική της σύσταση (αμμώδης ή βραχώδης, τεκτονικές κινήσεις ακτών)
- Η μορφολογία της ακτής (ήπια ή απότομη κλίση)
- Οι επικρατούσες κλιματικές και κυματικές συνθήκες (επιμήκη ρεύματα, άνεμοι, σύνηθες ύψος κυμάτων)
- Η συχνότητα και η ένταση ακραίων καιρικών και κυματικών φαινομένων
- Η μεταβολή των στερεοπαροχών (ακτή κοντά σε ποτάμι ή όχι) και τα αποθέματα ιζημάτων στην περιοχή που δημιουργούν ή όχι

Σε ότι αφορά την ανθρώπινη ανάπτυξη και δραστηριότητα είναι και εκείνη μείζονος σημασίας. Σε αυτές τις δραστηριότητες μπορούν να καταχωρηθούν τα παράκτια έργα, οι αλλαγές στις χρήσεις γης, η κατασκευή φραγμάτων σε περιοχές αποστράγγισης των ποταμών, η βυθοκόρηση του πυθμένα της θάλασσας η υπεράντληση υπόγειων υδάτων και η απομάκρυνση της βλάστησης.

Η παραλία τροφοδοτεί με άμμο και λεπτόκοκκο υλικό τη θάλασσα στις περιόδους θαλάσσιας αναταραχής, τα οποία μεταφέρονται και καθιζάνουν σε κάποια απόσταση από την ακτή. Σε περιόδους νηνεμίας το φαινόμενο αναστρέφεται ποιοτικά όχι όμως και ποσοτικά.

Έτσι, τα κύματα και τα ρεύματα διατηρούν την αέναη κίνηση της παραλίας. Εάν θέλουμε να μελετήσουμε τη μεταβολή μιας παραλιακής ζώνης κάτω από την επίδραση της Α.Σ.Θ. λόγω κλιματικών αλλαγών και διάβρωσης, θα μπορούσαμε να ακολουθήσουμε τα παρακάτω απλά βήματα συλλογισμού που το καθένα αποτελεί και ένα διαφορετικό και ανεξάρτητο μοντέλο (Δουκάκης 2005):

- Α: η Α.Σ.Θ. θα κατακλύσει βαθμιαία και μόνιμα τη χερσαία ζώνη. Το μέγεθος του κατακλυσμού εξαρτάται από τη μέση κλίση της παραλίας και το εύρος της Α.Σ.Θ. (στατικό μοντέλο).
- Β: η διάβρωση της παραλιακής ζώνης παριστά τη φυσική απομάκρυνση λεπτόκοκκου υλικού με την επενέργεια των κυμάτων και των ρευμάτων. Ο νόμος του Bruun είναι διεθνώς αποδεκτός (και φυσικά αποδεδειγμένος) και υπολογίζει το ρυθμό διάβρωσης της παραλίας σαν το πηλίκο της Α.Σ.Θ. επί την απόσταση μεταξύ παραλίας και βάθους καθίζησης (ή αιώρησης) του υλικού διάβρωσης ως προς το βάθος καθίζησης (στατικό μοντέλο). Διεθνώς, βάθη από πέντε έως 20 m χρησιμοποιούνται για το βάθος

καθίζησης, εκεί όπου δεν υπάρχουν παρατηρήσεις της φυσικής διεργασίας (Bruun 1962).

- ο Γ: η γεωτεκτονική καθίζηση ή ανύψωση μιας παραλιακής ζώνης, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο μέγεθος του κατακλυσμού της από τη θάλασσα ενισχύοντας ή αποδυναμώνοντας το φαινόμενο αντίστοιχα (δυναμικό μοντέλο).
- ο Δ: οι σημαντικές τοπικές επεμβάσεις όπως π.χ. αμμοληψία, θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη και να συνεκτιμώνται στο τελικό φαινόμενο (δυναμικό μοντέλο).
- ο Ε: η ύπαρξη ισχυρών ανέμων (ιδιαίτερα > 117 km/ h) έχει σημαντική επίπτωση στην αλλαγή της μορφής της παραλίας και μάλιστα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα (δυναμικό μοντέλο).
- ο Ζ: σε παραλιακές περιοχές όπου υπάρχουν παλιές αεροφωτογραφίες ή τοπογραφικά διαγράμματα (3D) μπορούν να συγκριθούν με σημερινές αντίστοιχες πηγές και να προκύψει η ιστορική μεταβολή των περιοχών που εξετάζονται (δυναμικό μοντέλο).

Στον ελληνικό χώρο δεν υπάρχουν στοιχεία για τη δημιουργία Γ και Δ μοντέλων, ενώ δεν υπάρχουν συχνές καταγραφές για ανέμους του μοντέλου Ε. Έτσι, ένα συνολικό στατικό και δυναμικό μοντέλο για την εκτίμηση των αλλαγών της παραλιακής ζώνης είναι:

$$T_R = R_{SLR} + R_{ER} + E_{ER}$$

Όπου:

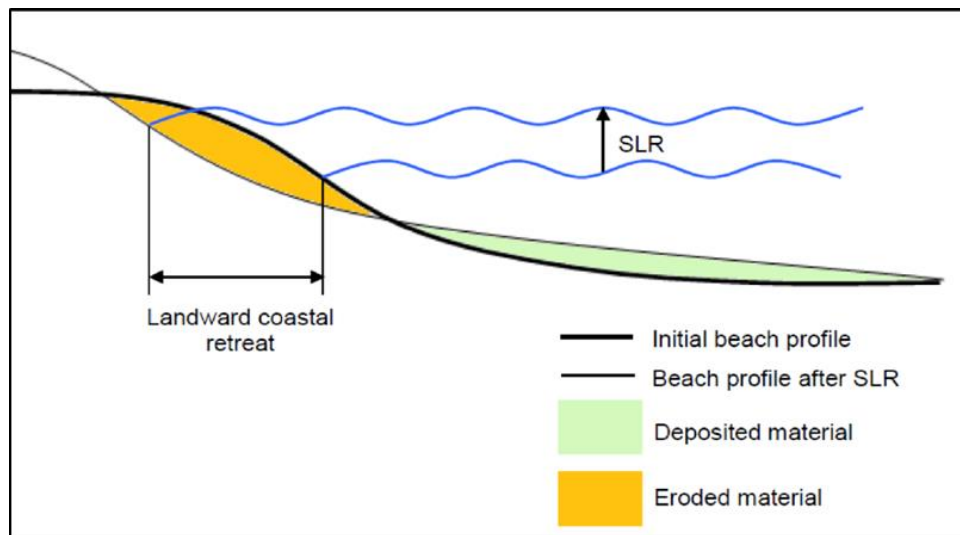
T_R : η συνολική οπισθοχώρηση της ακτογραμμής (total retreat)

R_{SLR} : η οπισθοχώρηση λόγω ανόδου της ΣΘ (κατακλυσμός) (βλ. και Σχήμα 1.19)

R_{ER} : η οπισθοχώρηση λόγω διάβρωσης (μοντέλο Bruun)

R_{HR} : η ιστορική οπισθοχώρηση

Είναι αυτονόητο, ότι όλοι οι όροι στην εξίσωση μπορεί να είναι και αρνητικοί (πρόσχωση, ανάδυση παραλιακής ζώνης) (Δουκάκης 2005).



Σχήμα 1.19 Απλοποιημένο μοντέλο της παράκτιας υποχώρησης εξ αιτίας της αύξησης της στάθμης της θάλασσας (Linham and Nicholls 2010)

Το αποτέλεσμα της Α.Σ.Θ. (σύνδεση Α.Σ.Θ. και απώλειας ακτογραμμής)

Η Α.Σ.Θ. αποτελεί είτε μακροχρόνιο και καθαυτό παράγοντα διάβρωσης και μετέπειτα απώλειας της ακτογραμμής (Δουκάκης 2006) είτε έμμεσο παράγοντα που επηρεάζει τα κάπως πιο παροδικά διαβρωσιγενή φαινόμενα όπως είναι η ένταση και η συχνότητα των κυματικών καταιγίδων (ΕΜΕΚΑ 2011) οι παλίρροιες και τα θαλάσσια ρεύματα (Δουκάκης 2006). Ειδικότερα συμβαίνει μετά την Α.Σ.Θ. οι ισχυροί άνεμοι να συγκεντρώνουν μεγαλύτερη μάζα νερού και ενέργεια στις κυματικές καταιγίδες, ενώ το ύψος των κυμάτων που προκαλούνται αυξάνεται όσο αυξάνεται και η Μ.Σ.Θ., με αποτέλεσμα την αύξηση αναρρίχησης των κυμάτων στο χερσαίο παράκτιο χώρο και σημαντικές συνέπειες για την παραλιακή μορφοδυναμική (Krestenitis et al., (2010) από ΕΜΕΚΑ (2011)). Επομένως η Α.Σ.Θ. που προκαλείται από την ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή σχετίζεται άρρηκτα με την απώλεια της ακτογραμμής και την επιταχύνει. Η ανάπτυξη των παραπάνω ωστόσο δεν σημαίνει πως και οι υπόλοιποι παράγοντες που προκαλούν την διάβρωση δεν θα ενταθούν από την κλιματική αλλαγή και σαν αποτέλεσμα θα εντείνουν και αυτήν (θυελλώδεις άνεμοι, η θερμοκρασία και οι σφοδρές βροχοπτώσεις). Το σημαντικότερο πρόβλημα της ελληνικής παράκτιας ζώνης είναι ο υψηλός ρυθμός διάβρωσης της ακτογραμμής της. Πάνω από το 20% της συνολικής ακτογραμμής (EUROSION, 2004) απειλείται, κατατάσσοντας την Ελλάδα 4^η χώρα ως προς την παράκτια τρωτότητα μεταξύ των 22 παράκτιων κρατών - μελών της Ε.Ε.

Οι σημαντικότερες αιτίες για την αυξημένη διάβρωση είναι οι ιδιαίτερα ισχυροί άνεμοι και οι θυελλογενείς κυματισμοί στο Αιγαίο πέλαγος, η τρωτότητα που προκαλείται στις ακτές από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (π.χ. φράγματα που μειώνουν τη στερεοπαροχή (Llasat et al., 2010) σε συνδυασμό με το ξηρό μεσογειακό κλίμα και τις ραγδαίες βροχές του χειμώνα συντελούν στην έντονη διάβρωση των εδαφών (Παρούσης κ.α., 1990). Οι φυσικές, εδαφικές, γεωλογικές,

γεωμορφολογικές, τοπογραφικές και κλιματολογικές συνθήκες της χώρας ευνοούν την ανάπτυξη όλων των μορφών διάβρωσης (Μήτσιος κ.α., 1995). Τα εδάφη του Ελλαδικού χώρου με το μικρό σχετικά ποσοστό οργανικής ουσίας που περιέχουν, τα ψαθυρά γεωλογικά υλικά, που καλύπτουν μεγάλο μέρος της επιφάνειας, ο ορεινός χαρακτήρας και οι ισχυρές κλίσεις, σε συνδυασμό με το ξηρό μεσογειακό κλίμα

Η διάβρωση αναμένεται να ενταθεί στο προσεχές μέλλον (Βελεγράκης, 2010), λόγω:

- (α) της προβλεπόμενης ανόδου της Μ.Σ.Θ.
- (β) της επιδείνωσης των ακραίων κυματικών φαινομένων και
- (γ) της περαιτέρω μείωσης των ποτάμιων ιζηματοπαροχών εξαιτίας αλλαγών στη βροχόπτωση και της κατασκευής ποτάμιων διαχειριστικών έργων (ΕΜΕΚΑ 2011).

2 Η ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ

2.1 Γεωγραφική τοποθέτηση

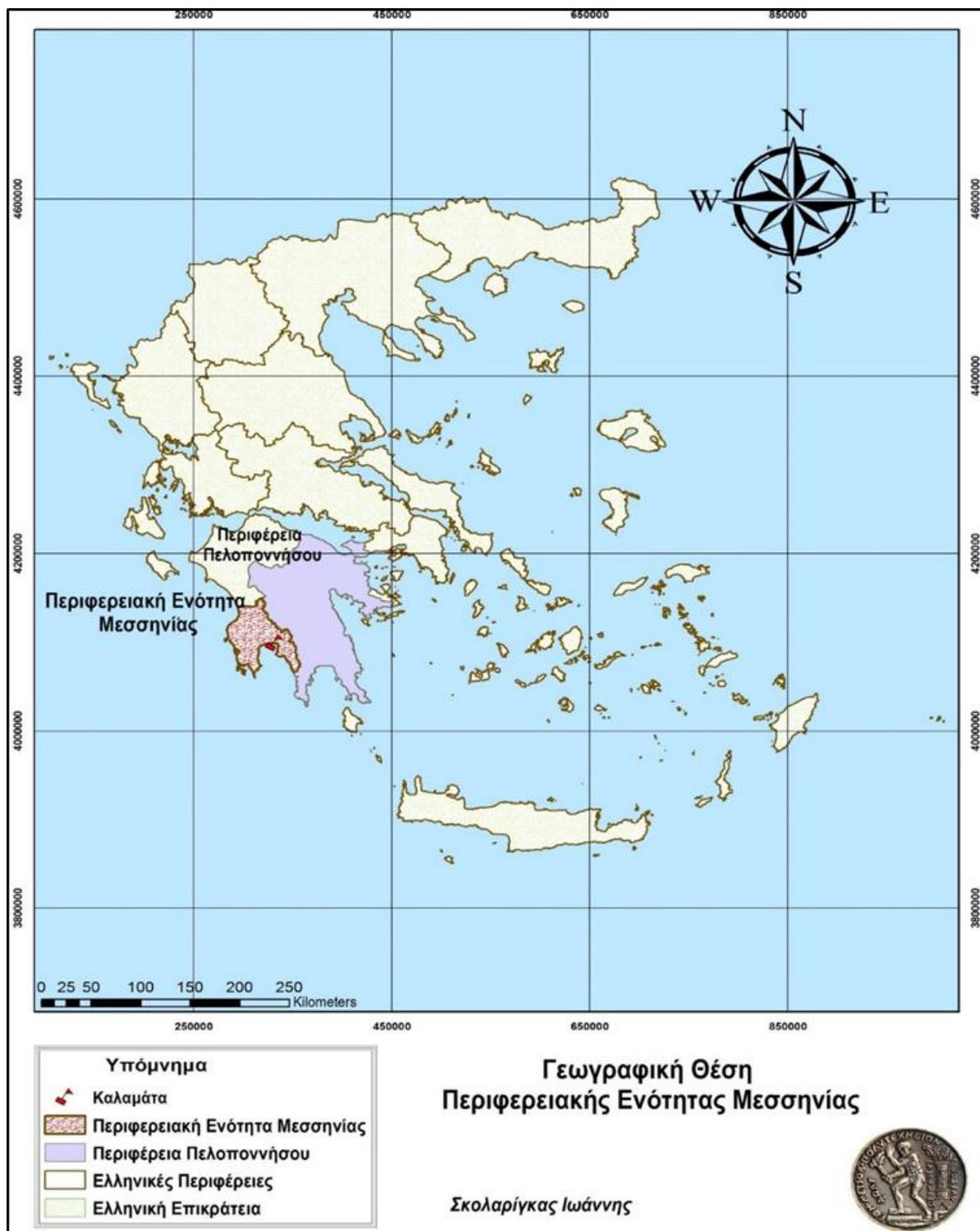
Η Π.Ε. Μεσσηνίας βρίσκεται στο Νοτιοδυτικό τμήμα της Πελοποννήσου και υπάγεται διοικητικά στην Περιφέρεια Πελοποννήσου. Συνορεύει Βόρεια με την Π.Ε. Ηλείας, Βορειοανατολικά με την Π.Ε. Αρκαδίας, Ανατολικά με την Π.Ε. Λακωνίας ενώ Δυτικά και Νοτιοδυτικά βρέχεται από το Ιόνιο πέλαγος και Νότια από τα νερά του Μεσσηνιακού κόλπου. Στην Π.Ε. ανήκουν και τα νησιά του συμπλέγματος των Πελοποννησιακών Οινουσσών (Σαπιέντζα, Αγία Μαριανή, Σχίζα, Αρνάτσι, Πετρόκαβος και Βενέτικο), η Σφακτηρία και η Πρώτη (Σχήμα 2.1) (Ηλιοπούλου 2015).

Η έκταση της Π.Ε. Μεσσηνίας ανέρχεται στα 2.998 km² και είναι η τέταρτη σε μέγεθος Π.Ε. της Πελοποννήσου από τις συνολικά επτά μετά από την Αχαΐα, την Αρκαδία και την Λακωνία. Συνολικά υπάρχουν 280 οικισμοί, εκ των οποίων 121 είναι πεδινοί, 73 ημιορεινοί και 85 ορεινοί.

2.2 Διοικητική διάρθρωση

Η παρούσα Π. Ε. Μεσσηνίας χωρίζεται σε έξι Καλλικρατικούς Δήμους (Σχήμα 2.2):

- Δήμος Καλαμάτας με έδρα την Καλαμάτα (πρωτεύουσα της Π.Ε.) αποτελούμενος από τους δήμους Άριος, Αρφαρών, Θουρίας και Καλαμάτας οι οποίοι καταργήθηκαν.
- Δήμος Μεσσήνης με έδρα την Μεσσήνη αποτελούμενος από τους δήμους Αιπείας, Ανδρούσας, Αριστομένους, Βουφράδων, Ιθώμης, Μεσσήνης, Πεταλιδίου και την κοινότητα Τρικόρφου οι οποίοι καταργήθηκαν.
- Δήμος Πύλου - Νέστωρος με έδρα την Πύλο αποτελούμενος από τους δήμους Κορώνης, Μεθώνη, Παπαφλέσσα, Πύλου, Νέστωρος και Χιλιοχωρίων οι οποίοι καταργήθηκαν.
- Δήμος Τριφυλίας με έδρα την Κυπαρισσία αποτελούμενος από τους δήμους Αετού, Αυλώνος, Γαργαλιάνων, Κυπαρισσίας, Φιλιατρών και από την κοινότητα Τριπύλας οι οποίοι καταργήθηκαν.
- Δήμος Οιχαλίας με έδρα τον Μελιγαλά αποτελούμενος από τους δήμους Ανδανίας, Δωρίου, Είρας, Μελιγαλά και Οιχαλίας, οι οποίοι καταργήθηκαν.
- Δήμος Δυτικής Μάνης με έδρα την Καρδαμύλη αποτελούμενος από τους δήμους Αβίας, Λεύκτρου, οι οποίοι καταργήθηκαν.



Σχήμα2.1 Η γεωγραφική θέση της Μεσσηνίας στην Ελλάδα (ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 2.2 Διοικητική διάρθρωση Μεσσηνίας (ίδια επεξεργασία)

2.3 Δημογραφικά χαρακτηριστικά:

Με βάση την τελευταία απογραφή του 2011, ο μόνιμος πληθυσμός στην Π.Ε. Μεσσηνίας ανέρχεται στους 159.954 κατοίκους. Σε σχέση με την απογραφή του 2001 καταγράφηκε μείωση της τάξης του 2,07%. Από πλευράς πληθυσμιακού δυναμικού, κατατάσσεται στην πρώτη θέση μεταξύ των Π.Ε. της Πελοποννήσου, αποτελώντας το 28,02% της Περιφέρειας. Τέλος υπάρχει μόνο ένα αστικό

κέντρο άνω των 10.000 κατοίκων (Καλαμάτα), επτά ημιαστικοί οικισμοί, και 273 αγροτικοί οικισμοί. Σημειώνεται ότι 144 από τους αγροτικούς οικισμούς (δηλαδή άνω του 50% του συνόλου των οικισμών) έχουν πληθυσμό λιγότερο από 250 κατοίκους.

Η μέση πληθυσμιακή πυκνότητα ανέρχεται στα 54,53 άτομα/ km², με μεγάλη διαφορά όμως από γειτονικές περιφερειακές ενότητες όπως από την Αρκαδία και την Λακωνία (20,67 και 25,53 άτομα/ km² αντίστοιχα). Βέβαια πέρα από τις διαφοροποιήσεις Π.Ε. Μεσσηνίας παραμένει σχετικά αραιοκατοικημένη συγκρινόμενη με το μέσο όρο της χώρας (83,08 άτομα/ km² αντίστοιχα). Η διαφορά αυτή είναι σε μεγάλο βαθμό αναμενόμενη λόγω της αγροτικής φυσιογνωμίας του μεγαλύτερου μέρους της περιοχής, οφείλεται όμως και στην μεγάλη πληθυσμιακή συρρίκνωση που υπέστη η Π.Ε. κατά την διάρκεια όλης της μεταπολεμικής περιόδου και την συνακόλουθη αποδυνάμωση των μικρών και μεσαίων οικισμών (Ηλιοπούλου 2015, από Μανταγάρη 2008). Παρακάτω παρουσιάζεται ο πληθυσμός κάθε δήμου της Μεσσηνίας καθώς και η πληθυσμιακή πυκνότητά του με βάση την τελευταία απογραφή (Πίνακας 2.1)

Πίνακας 2.1 Δημογραφικά χαρακτηριστικά Μεσσηνίας (ΕΛΣΤΑΤ 2011)

Διοικητική Διάρθρωση	Πληθυσμός	Πυκνότητα μόνιμου ¹⁷ πληθυσμού/ km ²
Π.Ε. Μεσσηνίας	159.954	53,48
Δήμος Καλαμάτας	69.849	158,64
Δήμος Δυτικής Μάνης	6.945	17,24
Δήμος Μεσσήνης	23.482	41,66
Δήμος Οιχαλίας	11.228	27,29
Δήμος Πύλου - Νέστορος	21.077	38,03
Δήμος Τριφυλίας	27.373	44,73

2.4 Οικονομικά χαρακτηριστικά:

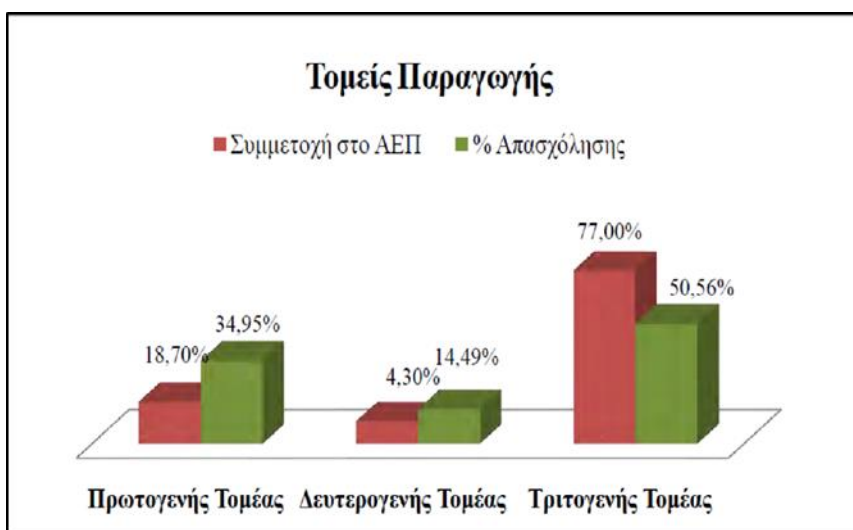
Η Π.Ε. Μεσσηνίας με κατά κεφαλήν Α.Ε.Π. τα 12.155 € το 2014 ενώ κατατάσσεται 30^η στο σύνολο των Π.Ε. της χώρας. Το εργατικό δυναμικό ανέρχεται στα 64.347 άτομα με βάση τα στοιχεία του 2011. Η οικονομία της Π.Ε. βασίζεται κατά κύριο λόγο στον πρωτογενή και τον τριτογενή τομέα ενώ ο δευτερογενής παρουσιάζει συρρίκνωση (Σχήμα 2.3). Πιο αναλυτικά ο πρωτογενής τομέας συμμετείχε στο Α.Ε.Π. της Π.Ε. κατά 18,7%. Με κύρια προϊόντα, τα εσπεριδοειδή, τα βρώσιμα

¹⁷ Η επεξεργασία σε ότι αφορά την πυκνότητα πληθυσμού δική μας.

σταφύλια, το κρασί, τις σταφίδες τις πατάτες, τα δημητριακά, τα κτηνοτροφικά φυτά, τα κηπευτικά, ενώ κυρίαρχη θέση στον πρωτογενή τομέα κατέχει η παραγωγή - καλλιέργεια ελιάς (η Π.Ε. κατατάσσεται πρώτη στην παραγωγή ελαιόλαδου, έκτη στην παραγωγή πατάτας, 11^η σε εσπεριδοειδή στην χώρα) (Ηλιοπούλου 2015).

Ο δευτερογενής τομέας είναι ο ισχνότερος οικονομικός τομέας καταλαμβάνοντας το 4,30% του συνολικού Α.Ε.Π. της Π.Ε. Κύριες δραστηριότητές του είναι οι βιομηχανίες τροφίμων και ποτών (οινοποιία, αρτοβιομηχανίες) οι κατασκευές (ξύλινες, μεταλλικές) και η δημιουργία προϊόντων από μη μεταλλικά ορυκτά. Σε αναπτυσσόμενη τροχιά βρίσκεται ο κλάδος επεξεργασίας της ελιάς με έμφαση στην τυποποίηση της βρώσιμης ελιάς και της εκμετάλλευσης του πυρηνόξυλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον σημειώνονται αρκετές επενδύσεις σχετικές με την παραγωγή λαδιού κυρίως σε ότι αφορά την προστασία του περιβάλλοντος (βιολογικοί καθαρισμοί) και την διασφάλιση ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος. Στα πλαίσια ανάπτυξης της ευρύτερης περιοχής υπάρχει δυνατότητα παραγωγής ενέργειας από αιολικά πάρκα στα Δυτικά της Π.Ε. (Ηλιοπούλου 2015).

Ο τριτογενής τομέας καταλαμβάνει το 77% του συνολικού Α.Ε.Π. της Π.Ε. Κύριες δραστηριότητές του είναι το εμπόριο και οι ξενοδοχειακές επιχειρήσεις. Παρόλα αυτά η Π.Ε. χαρακτηρίζεται από έλλειψη επάρκειας σε ξενοδοχειακές μονάδες καθώς και σε μονάδες υψηλής ποιότητας, συνεπώς υπάρχει πρόσφορο έδαφος για ανάπτυξη του τουριστικού τομέα και κυρίως ξενοδοχείων υψηλών προδιαγραφών (Ηλιοπούλου 2015). Ενώ τέλος σημειώνεται πως το ποσοστό ανεργίας της Π.Ε. Μεσσηνίας για το πρώτο τρίμηνο του 2017 ανέρχεται στο 23,8% (ΕΛΣΤΑΤ 2017).



Σχήμα 2.3 Ποσοστό συμμετοχής στο Α.Ε.Π. και στην Απασχόληση ανά τομέα παραγωγής (Ηλιοπούλου 2015)

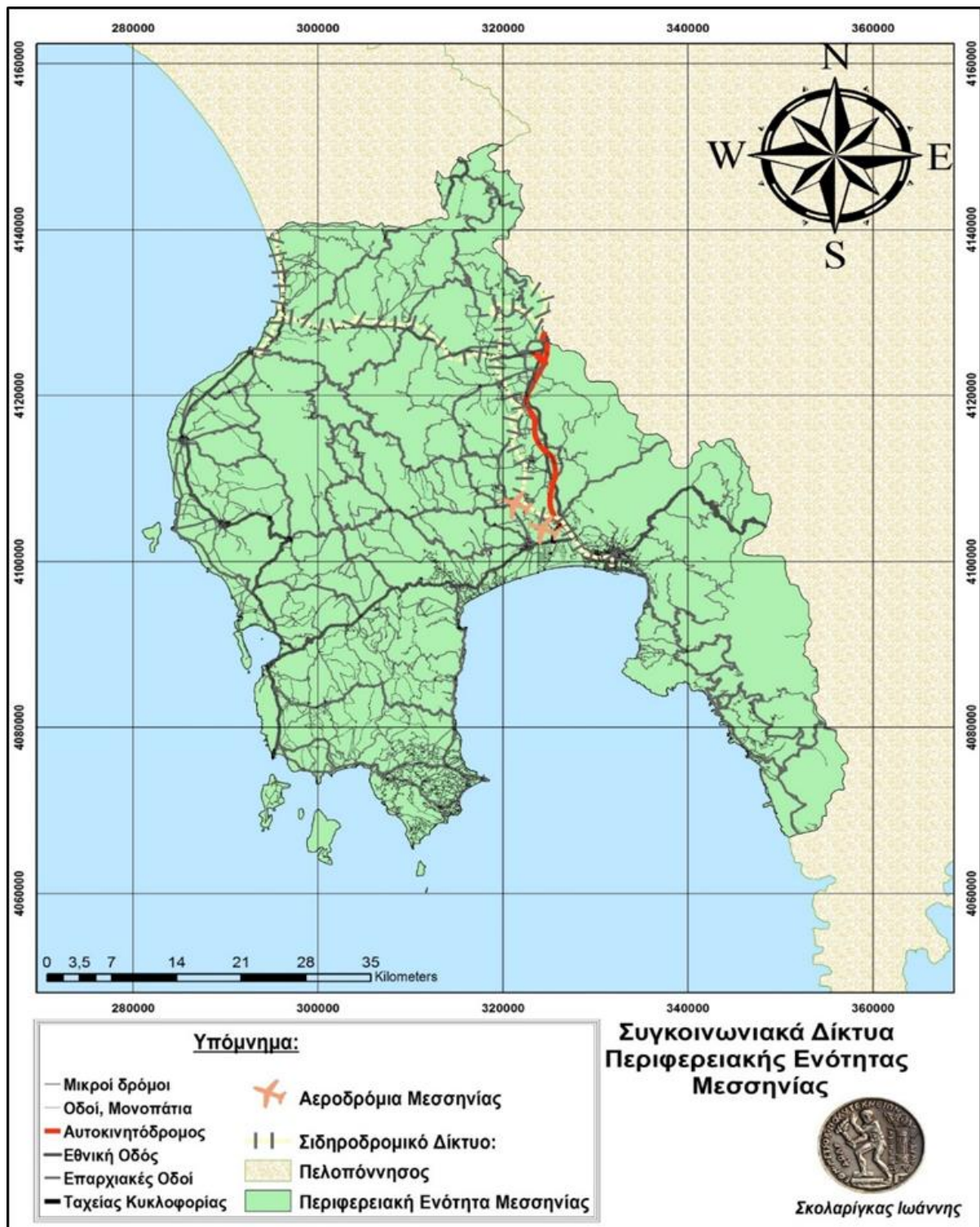
2.5 Υποδομές και Δίκτυα:

Λιμάνια και θαλάσσιες μεταφορές: Τα λιμάνια της Μεσσηνίας χρησιμοποιούνται κυρίως για την εξυπηρέτηση της επιβατικής κίνησης, ενώ η εμπορική δραστηριότητα είναι μικρής κλίμακας. Πρωταρχικό ρόλο έχει το λιμάνι της Καλαμάτας, ενώ δευτερεύοντα οι λιμένες Πύλου και Κυπαρισσίας. Στην Καλαμάτα υπάρχει επίσης μαρίνα, με πλήρη υποδομή, για 250 σκάφη αναψυχής.

Οδικό δίκτυο: Η Π.Ε. διαθέτει κακής ποιότητας οδικό δίκτυο. Την τελευταία μόνο δεκαετία παρουσιάζονται σημάδια βελτίωσης με πιο σημαντικό τον αυτοκινητόδρομο: Κόρινθος - Τρίπολη - Καλαμάτα, που αποτέλεσε έναν από τους κυριότερους παράγοντες περιφερειακής ανάπτυξης των περιοχών της κεντρικής και Νότιας Πελοποννήσου. Το έργο μειώνει σημαντικά τον χρόνο διαδρομής μεταξύ των γεωγραφικών θέσεων που εξυπηρετεί. Αντιθέτως, οι οδικοί άξονες προς Πάτρα, Πύργο και Σπάρτη είναι σε μέτρια έως πολύ κακή κατάσταση. Το εσωτερικό επαρχιακό οδικό δίκτυο σε αρχαιολογικούς χώρους και λοιπόν τουριστικών και μη προορισμών είναι μέτριο προς κακό και χρήζει βελτίωσης (Σχήμα 2.4).

Αεροδρόμια: Το μοναδικό επιβατικό αεροδρόμιο της Π.Ε. λειτουργεί στην Καλαμάτα. Πρόκειται για τον Κρατικό Αερολιμένα Καλαμάτας «Καπετάν Βασίλης Κωνσταντακόπουλος», το οποίο εξυπηρετεί τα καθημερινά δρομολόγια των πτήσεων των πολιτική αεροπορίας εσωτερικών γραμμών καθώς και πτήσεις εσωτερικού. Τέλος σε απόσταση 17 km από την Καλαμάτα υπάρχει και το αεροδρόμιο Τριόδου το οποίο δεν χρησιμοποιείται πλέον ενώ στο παρελθόν είχε αποτελέσει αεροδρόμιο της (Σχήμα 2.4)..

Σιδηροδρομικό δίκτυο: Το σιδηροδρομικό δίκτυο της Π.Ε. έχει εγκαταλειφθεί πλήρως. Παλαιότερα υπήρχε τραίνο που συνέδεε την Καλαμάτα με την Αθήνα μέσω Τρίπολης, αλλά από το 2010 η γραμμή έχει διακοπεί όπως και όλο το ενδομεσσηνιακό δίκτυο (Σχήμα 2.4). (Ηλιοπούλου 2015).



Σχήμα2.4 Συγκοινωνιακά δίκτυα Μεσσηνίας (ίδια επεξεργασία)

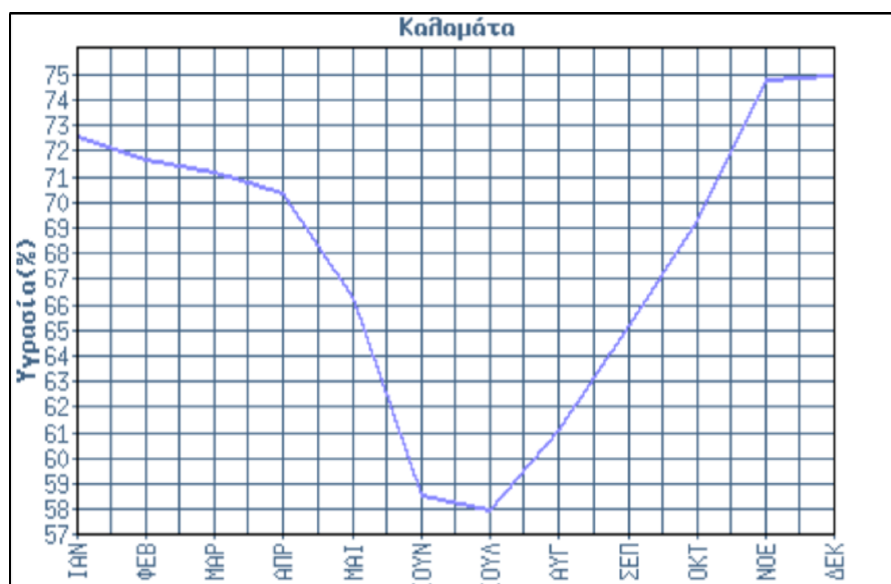
2.6 Κλίμα

Το κλίμα της Π.Ε. Μεσσηνίας χαρακτηρίζεται (ασθενές) μεσογειακό εύκρατο έως υποτροπικό. Ο χειμώνας είναι ήπιος ενώ το καλοκαίρι εκτεταμένο και θερμό. Η ψυχρή περίοδος διαρκεί από τον Νοέμβριο μέχρι τον Απρίλιο και η θερμή από τον Μάιο μέχρι τον Οκτώβριο. Το μέσο ετήσιο ύψος των βροχοπτώσεων φτάνει τα 751,2 mm/ έτος. Ο ξηρότερος μήνας είναι ο Ιούλιος (1,3 mm) ενώ ο υγρότερος είναι ο Δεκέμβριος (11,6 mm). Η μέση ετήσια σχετική υγρασία αγγίζει το 67,7% με

ξηρότερο μήνα τον Ιούλιο (57,9%) και υγρότερο τον Δεκέμβριο (75%) (Σχήμα 2.5 & Πίνακας 2.3). Η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται στους 17,8°C ενώ η μέση ελάχιστη παρουσιάζεται τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο με 10,2°C και 10,6°C αντίστοιχα και η μέγιστη τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο με 26,4°C και 26,3°C αντίστοιχα (Πίνακας 2.2) (Ηλιοπούλου 2015).

Πίνακας 2.2 Μέση, Μέγιστη και μέση Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία, στην πόλη της Καλαμάτας, για την περίοδο 1956 - 1997 (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία 2017)

Μήνας:	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΙΑ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.
Μέση °C:	5,7	5,7	6,8	8,9	12,4	16	18,1	18,4	16,2	13,2	9,9	7,2
Μέση Μέγιστη °C:	10,2	10,6	12,3	15,2	19,7	24,1	26,4	26,3	23,2	18,9	14,8	11,7
Μέση Ελάχιστη °C:	15,3	15,5	17,1	19,9	24,3	28,8	31,1	31,3	28,7	24,7	20,5	16,7



Σχήμα 2.5 Μέση μηνιαία Υγρασία στην πόλη της Καλαμάτας, για την περίοδο 1956 - 1997 (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία 2017)

Πίνακας 2.3 Μέση μηνιαία Υγρασία στην πόλη της Καλαμάτας, για την περίοδο 1956 - 1997 ((Ε.Μ.Υ. 2017)

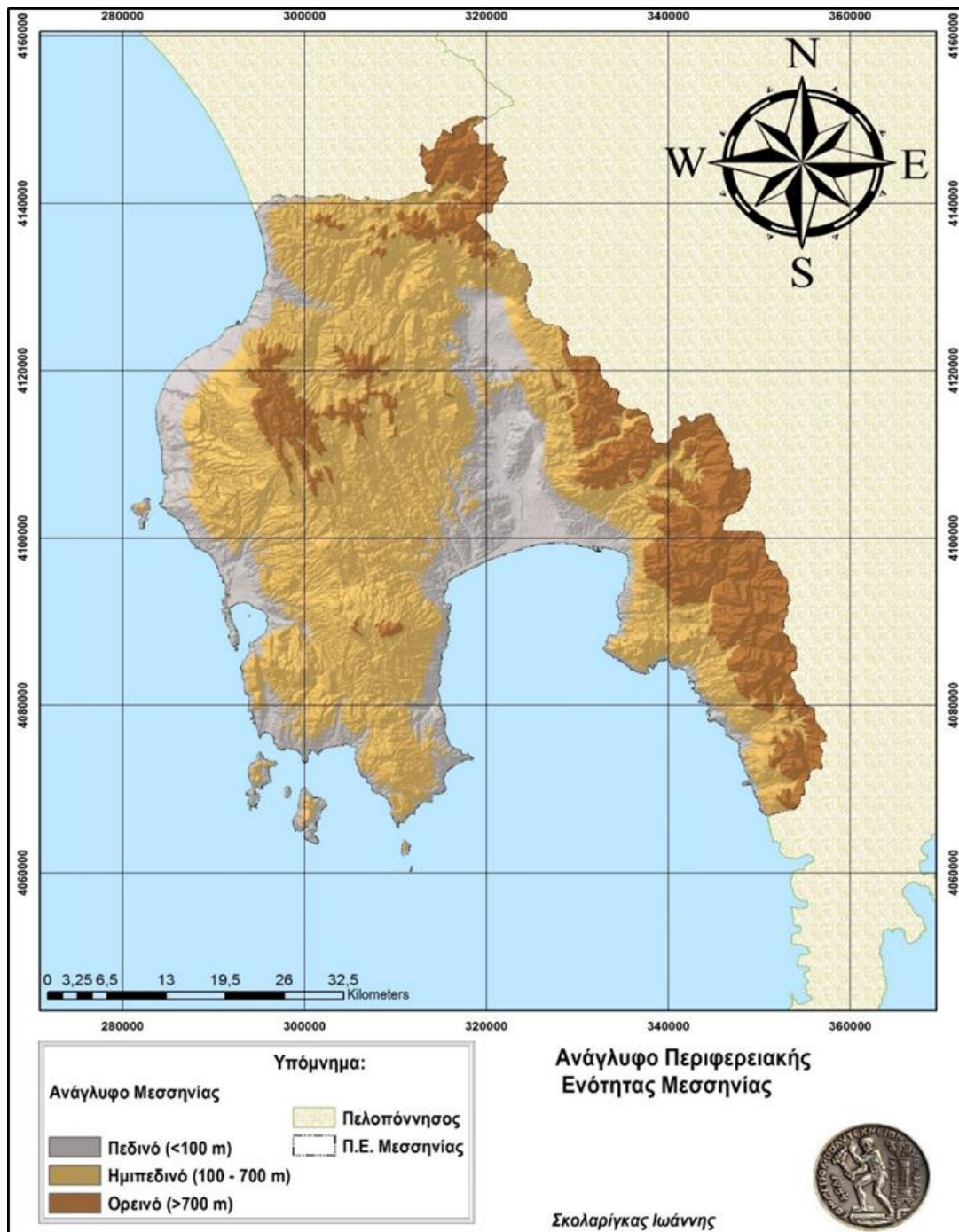
Μήνας	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΙΑ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.
Μέση Μηνιαία Υγρασία %	72,6	71,7	71,2	70,4	66,3	58,6	58	61,1	65,2	69,3	74,8	75

2.7 Μορφολογία και γεωλογία

Η Μεσσηνία παρουσιάζει ιδιαίτερα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά καθώς παρά την μεγάλη ακτογραμμή της ένα σημαντικό τμήμα της χαρακτηρίζεται ορεινό (Ηλιοπούλου 2015).

Υψόμετρο

Συγκεκριμένα το 20,85% της Μεσσηνίας χαρακτηρίζεται πεδινό (<100 m), το 57,72% ημιορεινό (100 - 700 m) και το 21,43% ορεινό (>700m), ενώ η ακτογραμμή της εκτείνεται σε 250 km (Σχήμα 2.6 & Πίνακας 2.4).



Σχήμα 2.6 Ανάγλυφο Μεσσηνίας (ίδια επεξεργασία)

Υψηλότερο σημείο είναι ο προφήτης Ηλίας Ταυγέτου με 2404 m στα σύνορα με την Λακωνία, ενώ ακολουθούν στα Βορειοανατολικά σύνορα με την Αρκαδία η κορυφή του όρους Λύκαιο με 1420 m και στα Βορειοδυτικά σύνορα με την Ηλεία η κορυφή του όρους Αιγάλεω με 1224 m.

Στο κεντρικό τμήμα της Π.Ε. σχηματίζεται η εύφορη πεδιάδα της Μεσσηνίας το βόρειο τμήμα της οποίας ονομάζεται πεδιάδα του Μελιγαλά και το νότιο πεδιάδα της Καλαμάτας. Μικρότερες πεδινές εκτάσεις σχηματίζονται στις ακτές του Ιονίου πελάγους και πιο συγκεκριμένα στις περιοχές της Κυπαρισσίας, των Φιλιατρών, των Γαργαλιάνων, της Πύλου και της Μεθώνης (Μανταγάρης 2008).

Πίνακας 2.4 Διάρθρωση Π.Ε. Μεσσηνίας με βάση το υψόμετρο (ίδια επεξεργασία)

Χαρακτηρισμός τμήματος	Έκταση km ²	Ποσοστό (%)
Πεδινό (<100 m)	625,252	20,85
Ημιορεινό (100 - 700 m)	1730,93	57,72
Ορεινό (> 700 m)	642,687	21,43

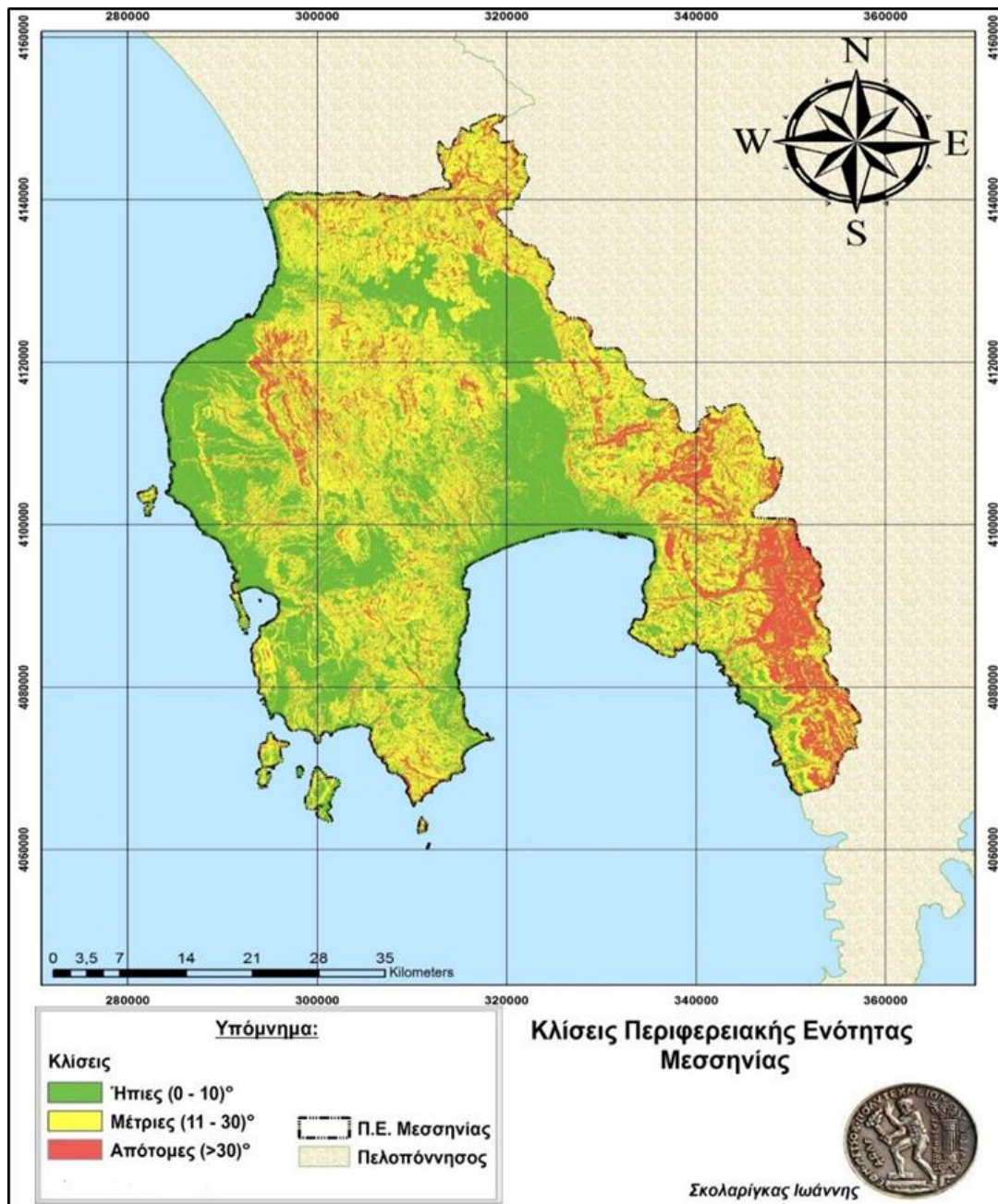
Κλίσεις

Το εύρος των κλίσεων της Π.Ε. Μεσσηνίας είναι αρκετά μεγάλο από 0 - 86° με μέση κλίση τις 16°. Η Μεσσηνία χαρακτηρίζεται από ισορροπημένη κατανομή κλίσεων του εδάφους της. Η κάτι που την καθιστά αρκετά αντιθετική και ιδιαίτερη.

Συγκεκριμένα οι Μέτριες κλίσεις (11 - 30)° σε ποσοστό 46,6% επικρατούν στις περιοχές που παραπάνω χαρακτηρίστηκαν ημιορεινές. Οι Ήπιες κλίσεις (0 - 10)° ακολουθούν σε ποσοστό με 38,76% και εντοπίζονται εκτεταμένα στον κάμπο της Καλαμάτας, του Μελιγαλά και στα Δυτικά παράλια Μεσσηνίας από το ύψος της Πύλου έως την Κυπαρισσία. Τέλος απότομες κλίσεις (> 30°) συναντάμε στα ορεινά και πλησίον των κορυφών τους σε σημαντικό ποσοστό ωστόσο για την έκταση και την παραλιακότητα της Π.Ε. (14,65%) (Σχήμα 2.7) & Πίνακας 2.5).

Πίνακας 2.5 Διάρθρωση Π.Ε. Μεσσηνίας με βάση τις κλίσεις (Ιδια επεξεργασία)

Χαρακτηρισμός κλίσεων	Έκταση km ²	Ποσοστό (%)
Ήπιες (0 - 10)°	1.162,291	38,76
Μέτριες (11 - 30)°	1.397,144	46,59
Απότομες (31 - 90)°	439,434	14,65

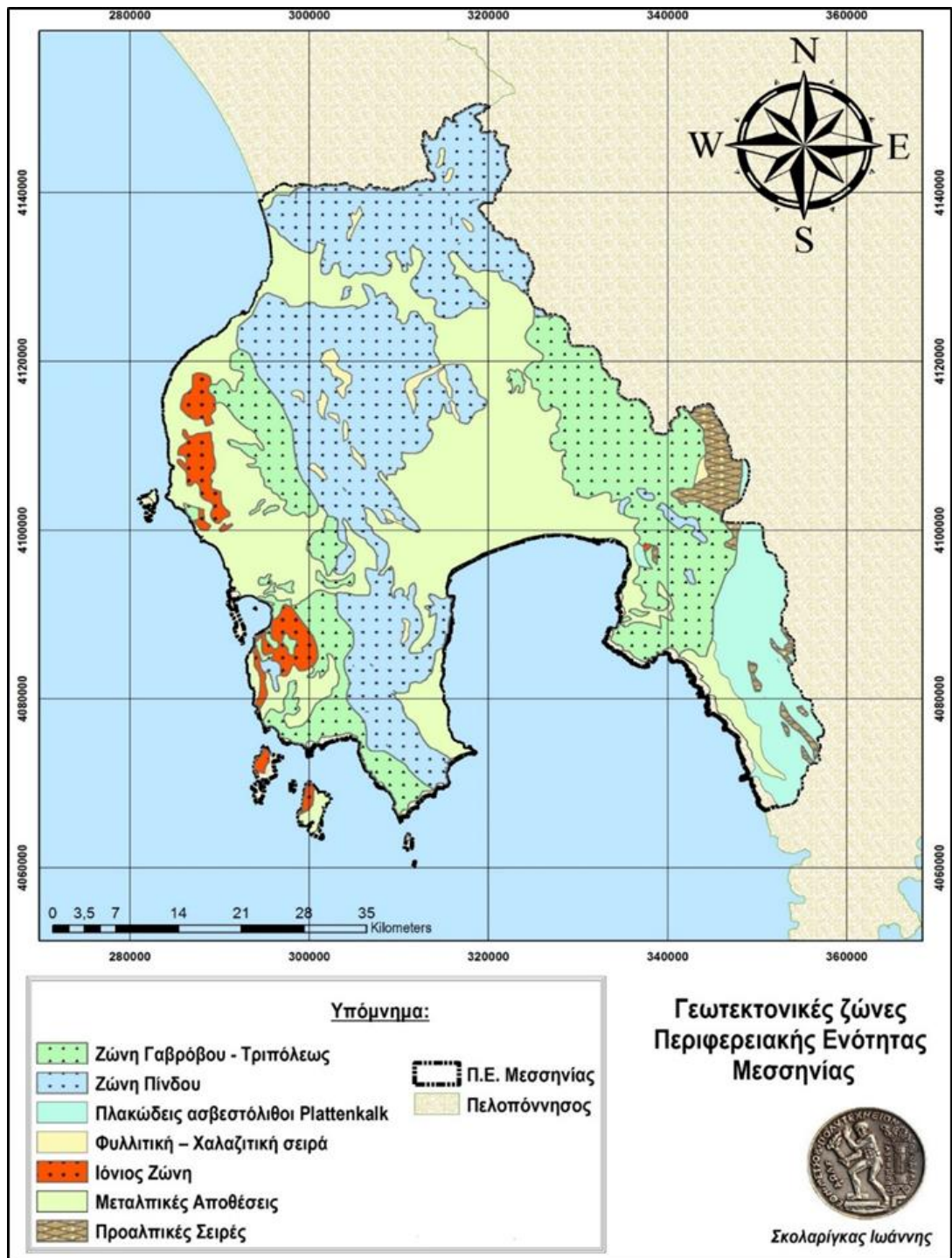


Σχήμα 2.7 Κλίσεις Μεσσηνίας (ίδια επεξεργασία)

Γεωλογία

Η γεωλογία της Μεσσηνίας (Σχήμα 2.9 & Πίνακας 2.7) είναι αρκετά πολύπλοκη καθώς έχουμε την εμφάνιση τριών κύριων ισοπικών (ή γεωτεκτονικών) ζωνών (ζώνες Πίνδου, Γαβρόβου - Τρίπολης και Ιόνια). Εκτός απ' τις αλπικές αποθέσεις στη Μεσσηνία υπάρχουν και μεταλπικές αποθέσεις οι οποίες καταλαμβάνουν σαφώς μικρότερο σε έκταση τμήμα, από εκείνο το οποίο καταλαμβάνουν οι αλπικοί σχηματισμοί και εμφανίζονται κυρίως στις λεκάνες Κυπαρισσίας - Καλού Νερού και Νέδα (Κουφογιάννης 2013). Ωστόσο εντός της Π.Ε. Μεσσηνίας και ειδικότερα στο τμήμα του Μεσσηνιακού Ταύγετου παρουσιάζεται και η σειρά των Πλακωδών ασβεστόλιθων Plattenkalk για την οποία δίστανται οι απόψεις για το αν αποτελεί αυτόνομη γεωτεκτονική ζώνη ή συνέχεια της

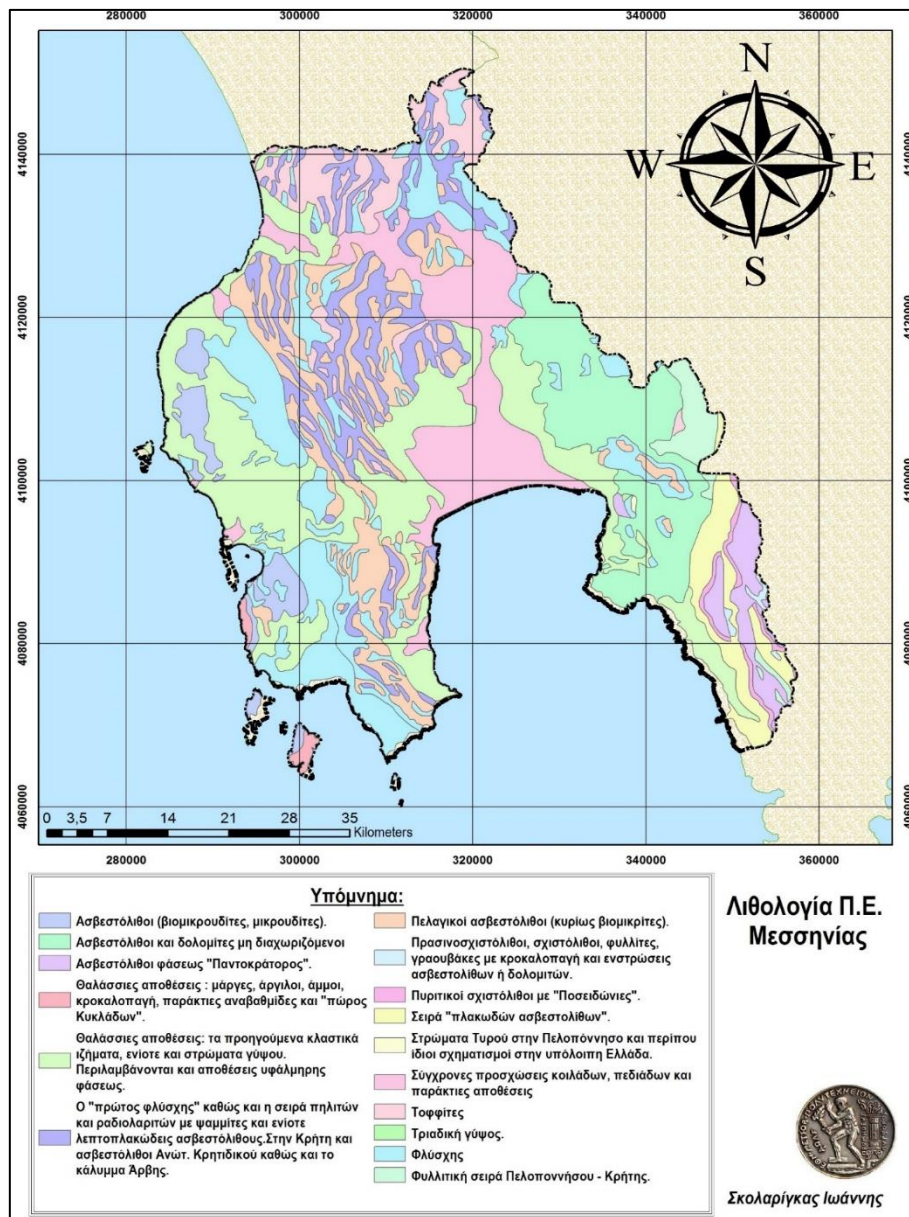
Ιονίου γεωτεκτονικής ζώνης (Σχήμα 2.8 & Πίνακας 2.6) (Τσάφου και Ζατζηχαριστού 2007). Τέλος πολλές αναφορές σε επιστημονικές Εργασίες γίνονται και για την Φυλλιτική - Χαλαζιτική σειρά του Ταύγετου η οποία εδράζεται πάνω την σειρά των Plattenkalk (Τσάφου και Ζατζηχαριστού 2007).



Σχήμα 2.8 Γεωλογία Μεσσηνίας (ζώνες) (΄΄δια επεξεργασία)

Πίνακας 2.6 Γεωλογική δομή Μεσσηνίας

Όνομασία	Έκταση km ²	Ποσοστό (%)
Προαλπικές Σειρές	61,522	2,09
Ιόνιος Ζώνη	86,944	2,96
Ζώνη Πίνδου	945,454	32,17
Ζώνη Γαβρόβου - Τριπόλεως	623,732	21,22
Πλακώδεις ασβεστόλιθοι Platterklank	199,932	6,80
Φυλλιτική - Χαλαζιτική Σειρά	34,271	1,17
Μεταλλικές Αποθέσεις	987,108	33,59



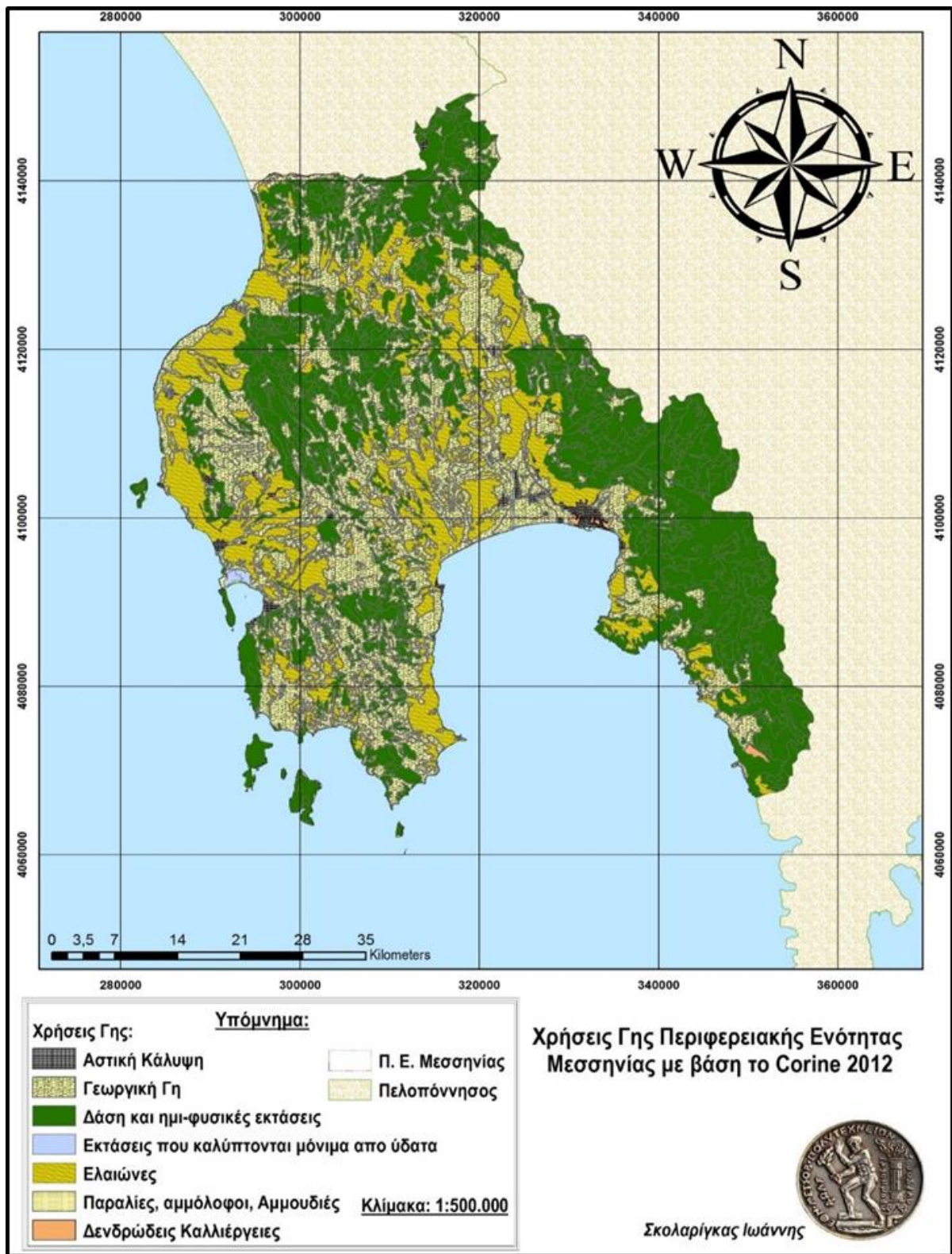
Σχήμα 2.9 Λιθολογία Μεσσηνίας (΄δια επεξεργασία)

Πίνακας 2.7 Λιθολογική Διάρθρωση Π.Ε. Μεσσηνίας Γεωλογική

Τύπος Πετρώματος:	Έκταση km ²	Ποσοστό (%)
Ασβεστόλιθοι (βιομικρουδίτες, μικρουδίτες).	340,008	11,57
Ασβεστόλιθοι και δολομίτες μη διαχωριζόμενοι	12,131	0,41
Ασβεστόλιθοι φάσεως "Παντοκράτορος".	634,969	21,61
Θαλάσσιες αποθέσεις : μάργες, άργιλοι, άμμοι, κροκαλοπαγή, παράκτιες αναβαθμίδες και "πώρος Κυκλάδων".	86,303	2,94
Θαλάσσιες αποθέσεις: τα προηγούμενα κλαστικά ιζήματα, ενίοτε και στρώματα γύψου. Περιλαμβάνονται και αποθέσεις υφάλμυρης φάσεως.	0,641	0,02
Ο "πρώτος φλύσχης" καθώς και η σειρά πηλιτών και ραδιολαριτών με ψαμμίτες και ενίοτε λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους. Στην Κρήτη και ασβεστόλιθοι Ανώτ. Κρητιδικού καθώς και το κάλυμμα Άρβης.	103,733	3,53
Πελαγικοί ασβεστόλιθοι (κυρίως βιομικρίτες).	21,099	0,72
Πρασινοσχιστόλιθοι, σχιστόλιθοι, φυλλίτες, γραουβάκες με κροκαλοπαγή και ενστρώσεις ασβεστολίθων ή δολομιτών.	75,099	2,56
Πυριτικοί σχιστόλιθοι με "Ποσειδώνες".	287,87	9,79
Σειρά "πλακωδών ασβεστολίθων".	335,862	11,43
Στρώματα Τυρού στην Πελοπόννησο και περίπου ίδιοι σχηματισμοί στην υπόλοιπη Ελλάδα.	189,076	6,43
Σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων, πεδιάδων και παράκτιες αποθέσεις	331,338	11,27
Τοφίτες	297,065	10,11
Τριαδική γύψος.	54,032	1,84
Φλύσχης	1,039	0,04
Φυλλιτική σειρά Πελοποννήσου - Κρήτης.	6,452	0,22

2.8 Χρήσεις Γης και προστατευόμενες περιοχές

Στην Π.Ε. Μεσσηνίας υπάρχουν πολλές και διαφορετικές χρήσεις γης. Συνοψίζοντάς τες σε βασικές κατηγορίες η Αστική Κάλυψη κατέχει το 1,47%, τα Δάση και οι Ημι - φυσικές εκτάσεις το 44,61%, η Γεωργική Γη το 33,18% και οι Ελαιώνες το 20,15%. Τέλος σε μικρότερα ποσοστά οι Παραλίες της Π.Ε. καταλαμβάνουν το 0,26%, οι Εκτάσεις που καλύπτονται από μόνιμα ύδατα το 0,18% και οι Δενδρώδεις Καλλιέργειες το 0,15% (Σχήμα 2.10 & Πίνακας 2.8).



Σχήμα 2.9 Χρήσεις γης Μεσσηνίας

Πίνακας 2.8 Πίνακας Χρήσεων Γης Π.Ε. Μεσσηνίας με βάση το Corine 2012 (Ιδια επεξεργασία)

Χρήσεις γης	Έκταση km ²	Ποσοστό%
Αστική Κάλυψη	43,946	1,47
Γεωργική Γη	995,061	33,18
Δάση και ημι - φυσικές εκτάσεις	1.337,679	44,61
Ελαιώνες	604,359	20,15
Παραλίες	7,750	0,26
Δενδρώδεις Καλλιέργειες	4,565	0,15
Εκτάσεις που καλύπτονται από μόνιμα ύδατα	5,508	0,18

2.9 Περιοχές Περιβαλλοντικού Ενδιαφέροντος

1. Δίκτυο Natura 2000

Το δίκτυο Natura 2000 προβλέπεται στην βάση της Οδηγίας 92/43/EEC και έχει σαν σκοπό να διασφαλίσει το καθεστώς προστασίας για τους φυσικούς οικοτόπους και τα είδη κοινοτικού και διεθνούς ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια παρουσιάζονται πινακοποιημένες οι περιοχές της Μεσσηνίας που έχουν ενταχθεί στο δίκτυο Natura:

Όνομασία Τύπου	Κωδικός	Έκταση km ²
Όρος Ταΰγετος	GR2550006	533,675
Όρος Ταΰγετος - Λαγκαδά Τρύπης	GR2550009	
Λαγκαδά Τρύπης	GR2540005	
<p>Η παραπάνω περιοχή του δικτύου Natura 2000 παρουσιάζει μεγάλη εναλλαγή βιοτόπων προσφέροντας καταφύγιο σε 160 περίπου ελληνικά ενδημικά φυτά. δυο από αυτά αναφέρονται στην οδηγία 92/43/EEC, 21 είναι τοπικά ενδημικά της περιοχής και 11 φυτικά taxa είναι ενδημικά των Βαλκανίων. Η πανίδα των σπονδυλωτών εκτός των πουλιών, είναι αρκετά αξιόλογη επειδή είναι άφθονη και ποικίλη περιλαμβάνοντας σπάνια και απειλούμενα είδη. Πέντε ερπετά της κοινοτικής οδηγίας 92/43/EEC και 36 άλλα είδη σπονδυλόζωων, που στην πλειοψηφία τους προστατεύονται από την Συνθήκη της Βέρνης ή και το Π.Δ.: 67/1981, αποτελούν δείκτη υψηλής βιοποικιλότητας όσον αφορά την πανίδα της περιοχής. Τέλος ένα 3% της περιοχής αποτελεί ταυτόχρονα και καταφύγιο θηραμάτων (1% Λαδά Καρβελίου, 2% Δουβίτσα).</p>		
Όνομασία Τύπου	Κωδικός	Έκταση km ²
Θίνες Κυπαρισσίας	GR2550005	13,429

(Νεοχώρι - Κυπαρισσία)		
<p>Η περιοχή αποτελεί τμήμα της παράκτιας ζώνης της Δυτικής Πελοποννήσου, όπου επικρατούν ευνοϊκές οικολογικές συνθήκες για την ανάπτυξη αμμοθινικών σχηματισμών τα οποία στην Ελλάδα μειώνονται συνεχώς σε αριθμό και έκταση, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν καταστραφεί ολοκληρωτικά. Το τοπίο της περιοχής συνθέτουν αμμόφιλη αμμονιτρόφιλη βλάστηση χαμηλών και υψηλών σταθεροποιημένων ή κινούμενων αμμοθινών, φρύγανα και μακκία βλάστηση παραλιακά δάση Χαλεπίου Πεύκης (<i>Pinus halepensis</i>) πάνω σε αμμώδη υποστρώματα όπως και καλλιεργούμενη γη κλπ. Από πανιδική άποψη η περιοχή θεωρείται μια από τις σημαντικότερες παραλίες ωοτοκίας για την <i>Caretta caretta</i> στην Ελλάδα και την ανατολική Μεσόγειο με ρυθμό παραγωγής φωλεών: 228 - 700 σε δέκα km παραλίας με τον μέσο ρυθμό για στις σημαντικές παραλίες να θεωρείται στις πέντε φωλιές/ km. Τέλος άλλα σημαντικά είδη που διαβιούν στην περιοχή είναι οι χελώνες: <i>Testudo maginata</i> και <i>Testudo hermanni</i> και το φίδι <i>Elaphe situla</i> που ανήκουν στην οδηγία 92/43/EEC, 11 είδη που προστατεύονται από την Συνθήκη της Βέρνης και δέκα από το Π.Δ.: 67/1981.</p>		
Όνομασία Τόπου	Κωδικός	Έκταση km²
Νήσοι Σαπιέντζα & Σχίζα, Ακρωτήριο Ακρίτας	GR2550003	112,921
<p>Η οικολογική σημασία της περιοχής οφείλεται στον ρόλο της ως τόπου ανάπαυσης μεταναστευτικών πτηνών καθώς και στην παρουσία 28 άλλων, εκτός των πτηνών σημαντικών σπονδυλωτών, μεταξύ των οποίων η φώκια <i>Monachus monachus</i> και η θαλάσσια χελώνα <i>Caretta caretta</i>. Επίσης στην περιοχή μεταξύ Πύλου και Μεθώνης και στην νήσο Σαπιέντζα απαντάται η <i>Fritillaria conica</i> (Φριτιλάρια η κωνική) που είναι ενδημική της Μεσσηνίας.</p>		
Όνομασία Τόπου	Κωδικός	Έκταση km²
Θαλάσσια περιοχή στενού Μεθώνης	GR2550007	9,723
<p>Η περιοχή συνδυάζει βραχώδεις ακτές με πληθυσμούς <i>Cystoseira</i> spp. (τύπος οικοτόπου 1170, ύφαλοι) και μια ενιαία αμμόδη ακτή με εκτεταμένα πυκνά υποθαλάσσια λιβάδια <i>Posidonia oceanica</i> (τύπος οικοτόπου 1120). Τα λιβάδια αρχίζουν από τα τρία - πέντε m και εκτείνονται έως τα 25 - 30 m βάθος. Μεταξύ της ακτής και της αρχής του λιβαδιού, υπάρχουν αμμόδεις βυθοί συχνά με βλάστηση <i>Cymodocea posoda</i>. Υπάρχουν επίσης εκτάσεις με μαλακό υπόστρωμα χωρίς βλάστηση. Στα διάκενα των λιβαδιών <i>Posidonia oceanica</i> υπάρχουν λιβάδια του φανερόγαμου <i>Halophila stipulacea</i> (Λεσσεψιανός μετανάστης) και του χλωροφύκου <i>Caulerpa prolifera</i>. Η παρουσία των προαναφερθέντων θαλάσσιων τύπων οικοτόπων, καθώς και του ρινοδέλφινου <i>Tursiops truncates</i> και του ψαριού <i>Syngnathus abaster</i> (των μοναδικών σπονδυλωτών που καταγράφονται σε αυτόν τον τόπο), προσδίδουν στην περιοχή ιδιαίτερη περιβαλλοντική σημασία.</p>		
Όνομασία Τόπου	Κωδικός	Έκταση km²

Λιμνοθάλασσα Πύλου (Διβάρι) & νήσος Σφακτηρία, Αγ. Δημήτριος (SPA).	GR2550004	35,52
Λιμνοθάλασσα Γιάλοβας & Νήσος Σφακτηρία (SCI)	GR2550008	
<p>Οι υγροβιότοποι της Πύλου έχουν ιδιαίτερη περιβαλλοντική αξία. Η λιμνοθάλασσα της Γιάλοβας μαζί με τα ποτάμι και τους χειμάρρους που την περιβάλλουν, λειτουργούν ως λεκάνες ιζηματογένεσης και απορροής φερτών υλών από την ευρύτερη λεκάνη απορροής. Δημιουργείται ένα εύφορο υπόστρωμα όπου επιτρέπει την ανάπτυξη ποικιλίας ειδών βλάστησης (καλαμιώνες, υδροχαρή φυτά, αλόφιλες διαπλάσεις, ξυλώδης - δενδρώδης μακκία, είδη μεσογειακών φρυγάνων, μονοετή αγχειόσπερμα). Η βλάστηση της νήσου Σφακτηρίας αποτελείται από <i>Juniperus phoenicea</i> σε μίξη με <i>Euphorbia dendroides</i>, <i>Ruta halerpensis</i>, <i>Phlomis fruticosa</i> και άλλα είδη φρυγάνων. Τέλος από 442 είδη πουλιών που έχουν καταγραφεί στον ελληνικό χώρο περισσότερα από 270 έχουν εντοπιστεί στην Γιάλοβα, εκ των οποίων 79 έχουν αναγνωρισθεί ως απειλούμενα στην Ευρώπη, ενώ κάποια από αυτά ως απειλούμενα παγκοσμίως. Τέλος στην παραλία του Ρωμανού ωοτοκεί η θαλάσσια χελώνα <i>Caretta caretta</i> και είναι και ο μοναδικός τόπος στην ηπειρωτική Ελλάδα όπου ζει σήμερα ένας μικρός αριθμός από χαμαιλέοντες.</p>		
Όνομασία Τύπου	Κωδικός	Έκταση km²
Φαράγγι Νέδωνα (Πέταλον - Χάνι)	GR2550001	12,419
<p>Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της περιοχής αυτής είναι η βαθιά χαράδρα μήκους εννέα km που βρίσκεται μεταξύ της περιοχής Χάνι Λαγού και του στρατιωτικού πεδίου βολής, ακριβώς Βόρεια της Καλαμάτας. Η σπουδαιότητα αυτής της περιοχής οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως το πολύ εντυπωσιακό τοπίο, η πολύ καλής ποιότητας μακκία βλάστηση, στην ανάπτυξη αμιγούς παρόχθιας βλάστησης, η συνεχής επιφανειακή ροή ύδατος για αρκετούς μήνες και τέλος στην ύπαρξη φυτογεωγραφικά σπάνιων φυτών όπως: η <i>Scilla messeniaca</i>, η <i>Campanula rupestris</i>, το <i>Ptilostemon chamaepeuce</i>, το <i>Teucrium flavum</i> και η <i>Barilia robertiana</i>. Επίσης από πανιδικής άποψης τέσσερα είδη που βρίσκονται σε αυτόν τον τόπο αναφέρονται στους καταλόγους του Παραρτήματος II της οδηγίας 92/43/EEC.</p>		

2. Τα καταφύγια Άγριας Ζωής:

Στην Μεσσηνία Υπάρχουν 12 από τα 610 Καταφύγια Άγριας Ζωής (Κ.Α.Ζ.) της Ελλάδας στα οποία σύμφωνα με τον νόμο 3937/2011 (ΦΕΚ Α'60) προστατεύεται η ζωή της Πανίδας και της Χλωρίδας απαγορεύεται η ανθρωπογενής εκμετάλλευση των πόρων της περιοχής ενώ επιτρέπεται επιτρέπονται ύστερα από υπαγωγή σε Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.) τύπου Α όλα τα έργα που αφορούν την διατήρηση και την βελτίωση του βιότοπου. Τα εν λόγω καταφύγια στην Μεσσηνία είναι τα εξής: Καταφύγιο Άγριας Ζωής: Καλλιγιά (22,263 km²), Άνω Γιάλας (16,597 km²), όρους

Λυκόδημος (14,58 km²), Αμυγδαλίτσας (13,444 km²), Αγ. Νικολάου (13,442 km²), Αγ. Γεωργίου - Αγ. Ιωάννη (12,654 km²), Ρονταίκα - Καστανιές (11,87 km²), Σκοτωμένου - Πετραλέξη (10,578 km²), Τούμπας (10,148 km²), Ευρέτη - Δενδρούλη (9,923 km²), Εξωχωρίου (8,337 km²) και Λίμνης Ντιβάρι - Βάλτου (7,037 km²).

Γ. Οι παραλίες με Γαλάζια σημαία:

Οι παραλίες της Π.Ε. Μεσσηνίας που πληρούσαν τα κριτήρια και έλαβαν από το Foundation for Environmental Education (FEE) την Γαλάζια Σημαία για το 2017 ήταν στον Δήμο Μεσσηνίας: η Μικρή Μαντίνεια, η Βέργα - Αλμυρού στην Ανατολική Καλαμάτα επι του τέρματος Ναβαρίνου, Ανατολική Καλαμάτα επι της Αναστάσεως, στον Δήμο Μεσσήνης: η Μπούκα και τέλος στον Δήμο Πύλου Νέστωρος: η Dunes Beach - Costa Navarino.

3.1 Βιβλιογραφική επισκόπηση επί των μοντέλων Α.Σ.Θ.

Πριν η γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων με την μεθοδολογία και για τις περιοχές που επιλέχθηκαν κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια βιβλιογραφική επισκόπηση στα κυριότερα μοντέλα που έχουν εφαρμοστεί για να προσομοιωθεί η μεταβολή της Σ.Θ.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία υπάρχει μια πληθώρα παράκτιων μοντέλων πρόβλεψης σχετικά με την Α.Σ.Θ. Τα μοντέλα αυτά διαφέρουν ως προς την κλίμακα και το πεδίο εφαρμογής, τη χωρική ανάλυση, τα δεδομένα εισαγωγής, το παραγόμενο αποτέλεσμα, τον χρόνο διεκπεραίωσης και το κόστος υλοποίησης (Νίκου 2014). Το κάθε μοντέλο πρόβλεψης ευπάθειας των παράκτιων περιοχών από την Α.Σ.Θ. διαφέρει ως προς την πολυπλοκότητα και το είδος των δεδομένων που απαιτείται για την ολοκλήρωσή του. Βασικό μέλημα επομένως κάθε ερευνητή είναι η εφαρμογή του βέλτιστου κάθε φορά μοντέλου και η επιλογή των κατάλληλων δεδομένων με στόχο τη διεξαγωγή ενός επιθυμητού αποτελέσματος (Πίνακας 3.1).

3.1.1 Πλημμυρικά μοντέλα (*inundation models*)

Τα *inundation models* μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη περιοχών που θα πλημμυρίσουν χρησιμοποιώντας ποσοτικές σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ του κλίματος και της περιοχής ενδιαφέροντος (McLeod et al. 2010, από: Carter et al. 1994). Τα μοντέλα αυτά βασίζονται σε τοπογραφικούς χάρτες για να οριοθετήσουν τις τρωτές ζώνες όπως αυτές προκύπτουν από μια δοσμένη υψομετρική καμπύλη και κάτωθεν (McLeod et al. 2010, από: Pilkey et al. 1992, Titus et al. 2001, Cooper et al. 2005 και Poulter et al. 2008). Μπορούν να εφαρμοστούν τόσο σε τοπική όσο σε περιφερειακή και παγκόσμια κλίμακα και είναι ικανά να απαντήσουν μια σειρά ερωτημάτων μεταξύ των οποίων και οι πιθανές επιπτώσεις από την Α.Σ.Θ. Περιλαμβάνουν διάφορα πιθανά σενάρια αύξησης της στάθμης της θάλασσας, δίνοντας κατά προσέγγιση τις πιθανότητες των παράκτιων περιοχών να εκτεθούν στις προβλέψεις της Α.Σ.Θ. Δυστυχώς οι πλημμυρικές εκτάσεις μπορούν να υπολογιστούν (π.χ. όπως στα G.I.S.) με βάση το υψόμετρο και την απόσταση από την ακτογραμμή. Παραδείγματος χάριν σε ερευνητική εργασία έχει αναπτυχθεί αλγόριθμος στα G.I.S. με σκοπό:

- 1) Να υπολογιστούν στα κανονικοποιημένα (raster) D.E.M. όλα τα κελιά που βρίσκονται δίπλα στην ακτογραμμή και
- 2) Να χαρακτηριστούν ως θαλάσσια (πλημμυρισμένα) με βάση το γεγονός ότι ανήκουν σε μία κλάση που βρίσκεται σε ίσο ή μικρότερο υψόμετρο απ' αυτό της δοσμένης θαλάσσιας ανόδου (McLeod et al. 2010, από: Rowley et al. 2007).

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου όλα τα φατνία που γειτνιάζουν ή βρίσκονται κοντά με αυτά της θάλασσας να «πλημμυρίσουν». Στην ίδια εργασία δημιουργήθηκαν ψηφιακά θεματικά επίπεδα (layers) στα G.I.S. δείχνοντας την παγκόσμια ακτογραμμή μετά από Α.Σ.Θ. από ένα - έξι m υπολογίζοντας: τις πλημμυρικές ζώνες για κάθε στάδιο άνοδου, το εμβαδό της περιοχής που θα πλημμυρίσει και τον πληθυσμό που θα επηρεαστεί για κάθε ένα από αυτά τα σενάρια (McLeod et al. 2010, από: Rowley et al. 2007). Παρόμοια μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την σύνταξη δυναμικών χαρτών, ελεύθερα προσβάσιμων στο διαδίκτυο οι οποίοι αποτυπώνουν τις ευπαθείς εκτάσεις σε άνοδο της στάθμης της τάξης του ενός - έξι m, ανά τον κόσμο και σε επίπεδο περιφέρειας (McLeod et al., από: Weiss and Overpeck 2009).

Από τα πλεονεκτήματα των πλημμυρικών μοντέλων αποτελεί το γεγονός πως είναι οικονομικά στην χρήση τους. Κάποια προϋποθέτουν απλά πρόσβαση στο διαδίκτυο (McLeod et al., από: Weiss and Overpeck 2009), την στιγμή που άλλα προϋποθέτουν λογισμικό G.I.S., γλώσσες προγραμματισμού, υψομετρικά δεδομένα και προσομοιώσεις της Α.Σ.Θ. (McLeod et al. 2010, από: Rowley et al. 2007). Στα υπόλοιπα πλεονεκτήματα τους συγκαταλέγεται η δυνατότητα να καταρτιστούν οι χάρτες σύντομα (π.χ. εντός μερικών ημερών ή εβδομάδων) μέσα από την χρησιμοποίηση, ελεύθερα διαθέσιμων υψομετρικών δεδομένων (π.χ. ETOPO5, ETOPO2 και παγκόσμια υψομετρικά δεδομένα από την Εθνική Υπηρεσία Γεωφυσικών Δεδομένων των Η.Π.Α. (NGDC), το μοντέλο GTOPO30 της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Η.Π.Α. (USGS) και το SRTM της NASA (McLeod et al. 2010, από: NGDC 2001). Ο συγκεκριμένος τύπος μοντέλων προσφέρει σχετικά γρήγορη πληροφορία αναφορικά με τις παράκτιες περιοχές που είναι πιο τρωτές στην άνοδο της στάθμης και μπορεί να ενημερώσει τους ειδικούς ερευνητές σχετικά με την τοποθέτηση των ορίων της οπισθοχώρησης, την ζωνοποίηση, την μελλοντική ανάπτυξη και τον σχεδιασμό όσο και για τα τοπικά και περιφερειακά σχέδια δράσης (McLeod et al. 2010, από: Bin et al. 2011).

Παρά το γεγονός ότι μπορούν να παρέχουν γρήγορες αναλύσεις για την τρωτότητα των ακτών στην άνοδο της στάθμης τα αποτελέσματά τους πρέπει να ερμηνεύονται δεδομένου ότι μπορεί να μην συνυπολογίζονται σημαντικά κριτήρια. Παραδείγματος χάριν αυτές οι μεθοδολογίες κατά κανόνα αγνοούν πιθανή αναπροσαρμογή του υγροτόπου (π.χ. η δυνατότητα των υγροτόπων να αντισταθμίζουν την θαλάσσια άνοδο με την επικάλυψη εδάφους στα όριά τους), έτσι που να μην προσμετρούν τον τοπογραφικό ρόλο των υγροτόπων στην διατήρηση και επιβίωση του τοπίου (McLeod et al. 2010, από: Moorhead and Brinson 1995). Τα μοντέλα αυτά περιορίζονται ακόμη από: τις αβεβαιότητες στις προβλέψεις για την παγκόσμια άνοδο της στάθμης, την αβεβαιότητα για τα υψομετρικά δεδομένα, την έλλειψη δεδομένων σχετικά με τους μηχανισμούς μεταφοράς των φερτών υλών (McLeod et al. 2010, από: Hennecke 2004) και την απουσία της αλληλεπίδρασης που υπάρχει μεταξύ των βιολογικών, οικολογικών και ανθρωπογενών συστημάτων (π.χ. προσαρμογή - απόκριση

του ανθρώπου). Για παράδειγμα μοντέλα που χρησιμοποιούν τα G.I.S. για να οριοθετήσουν τις πλημμυροπαθείς εκτάσεις πιθανόν:

- 1) να υπερεκτιμήσουν δυνητικά πλημμυρικές εκτάσεις γιατί η συνοχή του νερού δεν λαμβάνεται υπόψη (π.χ. κάποιες περιοχές πιθανόν να έχουν χαμηλότερο υψόμετρο από την αναμενόμενη άνοδο της Σ.Θ. αλλά φυσικά εμπόδια που τυχόν υπάρχουν να αποτρέπουν την πλημμύρα) (Mcleod et al. 2010, από: Rowley et al. 2007) και
- 2) κάποιες εκτάσεις που έχουν χαμηλότερο υψόμετρο από την προβλεπόμενη άνοδο της στάθμης είναι υδάτινα σώματα ωστόσο βρίσκονται ενδοχώρια και δεν απειλούνται από πλημμύρα (Mcleod et al. 2010, από: Liet al. 2009).

3.1.2 SLAMM (*Sea Level Affecting Marshes Model*)

Το μοντέλο SLAMM δείχνει τις επιπτώσεις της Σ.Θ. στις ελώδης περιοχές και είναι ένα μοντέλο βασισμένο στα G.I.S. που αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1980 για να υπολογιστούν οι δυνατές επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή στις ακτές των γειτονικών πολιτειών των Η.Π.Α. (Mcleod et al. 2010, από: Park et al. 1989 και Titus et al.1991). Το SLAMM από το 1980 έχει τελειοποιηθεί και ως αποτέλεσμα χρησιμοποιήθηκε σε λεπτομερείς έρευνες στις πολιτείες: της Φλόριντα, της Τζόρτζια, της Ουάσιγκτον της Καλιφόρνια και της Ν. Καρολίνα (Mcleod et al. 2010, από: Craft et al. 2009, Lee et al. 1991, 1992, Park et al. 1993, Galbraith et al. 2002 και NWF 2006).

Το μοντέλο προσομοιώνει και προβλέπει τις μεταβολές των οικοσυστημάτων σε σχέση με την Α.Σ.Θ. σε επίπεδο τοπικό έως περιφερειακό. Κάνει την ανάλυσή του (ως επί το πλείστο σε γεωγραφικές ενότητες διαστάσεων 30x30 m) βασιζόμενο στο D.E.M. της USGS. Επειδή έχει αναπτυχθεί ειδικά για την προσομοίωση των διάφορων περιβαλλοντικών διεργασιών οι οποίες επηρεάζουν την βλάστηση των υδροτόπων κάτω από το καθεστώς των διαφορετικών σεναρίων Α.Σ.Θ., έχει την ικανότητα να συνυπολογίζει την ιδιότητα των ελών να μετατοπίζονται, δείχνοντας με τα αποτελέσματά του στους χάρτες ότι η πρόγνωση εξάγεται συναθροιστικά για κάθε τύπο ελών (Mcleod et al. 2010, από: Clough et al. 2006). Το SLAMM χρησιμοποιεί μια ευρεία γκάμα δεδομένων μεταξύ των οποίων είναι: τα παλιρροιακά δεδομένα της Εθνική Υπηρεσίας για τους Ωκεανούς και τα Ατμοσφαιρικά δεδομένα (NOAA) των Η.Π.Α., λεπτομερή στοιχεία για τα τους υδροτόπους, φωτογραμμετρικά δεδομένα (LIDAR) σε επίπεδο περιφέρειας και τα D.E.M. της USGS. Το μοντέλο υπολογίζει την ανύψωση του νερού σε συγκεκριμένη θέση χρησιμοποιώντας συνδυασμούς γραμμικών σχέσεων και κανόνες λήψης αποφάσεων από δένδροειδή διαγράμματα (Mcleod et al. 2010 από Craft et al. 2009). Το πρότυπο χρονικό βήμα για το μοντέλο αυτό κυμαίνεται από πέντε έως 20 χρόνια και μπορεί να υπολογίσει την θαλάσσια πλημμύρα και την ανταπόκριση των οικοσυστημάτων για σε μεγάλες εκτάσεις (εκατοντάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα) σε υψηλή ανάλυση (Mcleod et al. 2010, από Glick et al. 2007) χρησιμοποιώντας ελάχιστο χρόνο για τους υπολογισμούς.

Πλήθος στατιστικών και λογικών αλγορίθμων που αφορούν περιβαλλοντικές παραμέτρους (π.χ. πλημμύριση, διάβρωση, αποθέσεις στρερεομεταφορών, κορεσμός του εδάφους) έχουν προσφάτως προστεθεί στο SLAMM προκειμένου να συμβάλουν στην εξαγωγή περισσότερο ρεαλιστικών αποτελεσμάτων. Το κόστος για να τρέξει το SLAMM εξαρτάται από την χωρική κλίμακα του πεδίου εφαρμογής, τα διαθέσιμα δεδομένα και την βαθμονόμηση που απαιτείται. Σε εφαρμογές που έχουν γίνει υπήρξε διακύμανση του κόστους. Παρόλα αυτά η τιμή δεν ξεπέρασε ποτέ τα 50.000\$, η οποία περιλάμβανε την βαθμονόμηση (ενδεχομένως και την ιστορική τους ανασκόπηση), την διασφάλιση της ποιότητας, την συζήτηση με ειδικούς από τις εκάστοτε περιοχές μελέτης για τους παράγοντες οι οποίοι αξίζει να προσμετρηθούν, η διαθεσιμότητα και η δομή των τοπικών δεδομένων και η γεωγραφική κλίμακα στην οποία εφαρμόστηκε. Το ζήτημα της εξοικείωσης και της εκπαίδευσης επάνω στο μοντέλο είναι κάτι που μπορεί να κατακτηθεί. Παρόλα αυτά όμως χρειάζονται και οι εξειδικευμένοι χρήστες για να το τρέξουν και να αξιολογήσουν τα αποτελέσματά του.

Τα πλεονεκτήματα της τελευταίας έκδοσης του συγκεκριμένου μοντέλου, του SLAMM είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε χωρικές κλίμακες από $<1 \text{ km}^2$ - 100.000 km^2 , ότι μπορεί να αποδώσει λεπτομερώς πληροφορίες σχετικά με την ευπάθεια παράκτιων ενδιαιτημάτων (π.χ. μανγκρόβια βλάστηση, άλλοι υγρότοποι που περιοδικά πλημμυρίζουν, νησίδες - φραγμοί, παραλίες) και ειδών (π.χ. θαλάσσιες χελώνες, πτηνά που φωλεοποιούν εκεί) στις μεταβολές του επιπέδου της θάλασσας και να παρέχει αναλυτικώς πληροφορίες για το πώς τα ενδιαιτήματα αυτά πιθανόν να ανταποκριθούν στις αλλαγές. Τέτοιου είδους πληροφορία μπορεί να αξιοποιηθεί για να ερευνηθούν ενδεχόμενα μελλοντικά αντιπαραθετικών χρήσεων γης, μεταξύ ανθρώπου και παράκτιων οικοτόπων σαν αποτέλεσμα της μετανάστευσης προς την ενδοχώρα και των λειτουργιών των οικοτόπων. Το μοντέλο είναι επίσης ικανό να συλλάβει την δυναμική σχέση μεταξύ της παράκτιας μεγέθυνσης και του περιβάλλοντος, αξιολογώντας τον βαθμό στον οποίο η διεύδυση του αλμυρού νερού επηρεάζει την μετατροπή των οικοτόπων με βάση: την ανύψωση της στάθμης, τον τύπο του οικοτόπου, την κλίση, την καθίζηση, την επικάθιση, τον ρυθμό διάβρωσης και τους υπάρχοντες κυματοθραύστες. Το μοντέλο συμπεριλαμβάνει και την υπόθεση ότι περιοχές που είναι ήδη αναπτυγμένες δεν θα πλημμυρίσουν επειδή θα παραμείνουν προστατευμένες από φυσικά εμπόδια και την γενικότερη μορφολογικά άμυνα της περιοχής στην Α.Σ.Θ. Αξιολογεί επίσης την επίδραση των κυμάτων στην διαδικασία της διάβρωσης και υπολογίζει για κάθε σενάριο ανόδου της στάθμης τι θα συμβεί στην εκάστοτε περιοχή μελέτης, λαμβάνοντας υπόψη τους τοπικούς δείκτες υποχώρησης, ισοστατικής προσαρμογής, καθίζησης και προσαύξησης των ακτών.

Το SLAMM στερείται λειτουργιών που εισάγουν την σχέση υδροδυναμικής - οικοσυστημάτων η οποία πιθανώς επηρεάζεται από τις αλλαγές στην Σ.Θ. (McLeod et al. 2010, από: Craft et al. 2009 και Kirwan and Guntenspergen 2009). Επειδή το SLAMM για να εκτελεστεί χρειάζεται αλλαγές στην

Σ.Θ., οι αλλαγές στην δίαιτα των κυμάτων από την διάβρωση ή άλλες υποθαλάσσιες ιδιότητες δεν παραμετροποιούνται. Επιπροσθέτως παράμετροι όπως η είσοδος του αλμυρού νερού σε υγροτόπους με καθαρό νερό μπορούν να επιταχύνουν τους ρυθμούς αποσύνθεσης και να μειώσουν κάθετα την επικάθιση (Mcleod et al. 2010, από: Weston et al. 2006 και Smit et al. 1999) ή αντιστρόφως με την είσοδο αλμυρού νερού οι λιμνοθάλασσες μπορεί να οδηγηθούν στην ανάπτυξη μακροφύτων και ως αποτέλεσμα αυτού στην αύξηση της καθίζησης (Mcleod et al. 2010, από: Morris et al. 2002). Το SLAMM επίσης δεν διαθέτει κοινωνικοοικονομικό κριτήριο με το οποίο να μπορεί να υπολογίσει το κόστος στις αντίστοιχες μεταβολές της στάθμης και ως εκ τούτου δεν είναι χρήσιμο εργαλείο στα χέρια όσων ασχολούνται με τις πολιτικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Παρόλο τους παραπάνω περιορισμούς το SLAMM μπορεί να παράσχει χρηστικές και αναλυτικότερες οπτικές του πως η Α.Σ.Θ. μπορεί να επηρεάσει τους παράκτιους οικοτόπους (Mcleod et al. 2010 από Craft et al. 2009).

3.1.3 BTELSS (Barataria - Terrebonne Ecological Landscape Spatial Simulation) - Μοντέλα χωρικής προσομοίωσης φυσικού περιβάλλοντος

Από την δεκαετία του 1980 μια σειρά από μοντέλα ευρέως γνωστά ως μοντέλα χωρικής προσομοίωσης φυσικού περιβάλλοντος, έχουν αναπτυχθεί με σκοπό να αναλύσουν διαφορετικές περιβαλλοντικές πιέσεις όπως η υποχώρηση, η Α.Σ.Θ., οι αποθέσεις των ποταμών και η μεταβλητότητα του κλίματος και οι αθροιστικές επιδράσεις τους στα παράκτια οικοσυστήματα (Mcleod et al. 2010, από: Costanza et al. 1990, 1998). Συγκεκριμένα μοντελοποιούν την άνοδο της στάθμης σε πλημμυρογενείς υγροτόπους σε συνάρτηση με την Α.Σ.Θ. σε κατάλληλη κλίμακα (100 km²) και υπολογίζουν το ποσοστό ανόδου σαν συνάρτηση του όγκου της πλημμύρας και της ποσότητας των ιζημάτων (Mcleod et al. 2010, από: Morris et al. 2002 και Temmerman et al. 2003, 2004). Τα μοντέλα ενσωματώνουν περιβαλλοντικές και βιοτικές σχέσεις οι οποίες επηρεάζουν την επικάθιση ιζημάτων στην βάση των ελών και την συμπίεσή τους (Mcleod et al. 2010, από: D'Alpaos et al. 2007 και Temmerman et al. 2007). Τα περισσότερα από αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για να εξεταστούν μακροχρόνιες επιπτώσεις (εκατοντάδων ετών) των πλημμυρών και των μεταβολών του παλιρροιακού κύκλου στην εξέλιξη του πυθμένα των ελών. Η ανάπτυξη μοντέλων τέτοιου τύπου τόνωσε την πειραματική έρευνα (Mcleod et al. 2010 από Kirwan and Murray 2007) και τις εμπειρικές αναλύσεις πάνω στις επιπτώσεις από την μακροχρόνια και επιταχυνόμενη Α.Σ.Θ. (Mcleod et al. 2010 από D'Alpaos et al. 2006, 2007 και Fagherazzi et al. 2004, Marani et al. 2004, Silvestri et al. 2005).

Τα μοντέλα χωρικής προσομοίωσης του φυσικού περιβάλλοντος μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια ποικιλία εφαρμογών. Για παράδειγμα ερευνητές εξέτασαν αλλαγές των χρήσεων γης για τα τροπικά οικοσυστήματα στο Μεξικό (Mcleod et al. 2010, από: Reyes et al. 2004) ενώ κάποιοι άλλοι ανέπτυξαν ένα μοντέλο για λεκάνες απορροής που επηρεάζονται εν πολλοίς από ποτάμια (Mcleod et

al. 2010, από: Voiron et al. 1999) το οποίο περιλάμβανε μια οικονομική συνιστώσα η οποία μπορούσε να εκτιμήσει τις πιθανότητες μετατροπής των χρήσεων γης από δάσος ή καλλιέργειες σε διαφορετικών διαβαθμίσεων οικιστική χρήση (McLeod et al. 2010, από: Costanza et al. 2002). Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων μοντέλων αποτελεί το BTELLS (McLeod et al. 2010, από: Martin et al. 2000), το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για το Δέλτα του Μισσισιπιπής (McLeod et al. 2010, από: Reyes et al. 2004) και την εκτροπή του Καερναρβορν (McLeod et al. 2010, από: Reyes et al. 2004). Το μοντέλο BTLESS αναπτύχθηκε για να προβλέψει την αλλαγή στο οικοσύστημα των υδροτόπων στο Δέλτα του Μισσισιπιπής σε χρονική περίοδο άνω των 30 ετών και σχεδιάστηκε για να υπολογίζει σε περιφερειακό επίπεδο και να συμπεριλάβει μεγάλης κλίμακας συντελεστές όπως η αλατότητα, η σχετική άνοδος της στάθμης και η μεταφορά ιζημάτων. Εννέα σημαντικοί παράμετροι συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο: η ταχύτητα του ανέμου, η κατεύθυνσή του, η βροχόπτωση, η εξάτμιση, η παλίρροια, η αλατότητα, η θερμοκρασία, η αποθέσεις των ποταμών και οι συγκεντρώσεις ανόργανων ιζημάτων. Η χωρική ανάλυση του BTLESS είναι ένα km². Το μοντέλο αποδείχτηκε χρήσιμο για την πρόβλεψη επιπτώσεων από περιφερειακά σχέδια διαχείρισης όπως οι εκτροπές νερού και οι διαρθρωτικές αλλαγές σε επίπεδο τοπίου (McLeod et al. 2010, από: Reyes et al. 2004).

Τα πλεονεκτήματα μοντέλων τύπου BTELESS είναι πως συνυπολογίζουν μια πλειάδα παραμέτρων όπως: η υδροδυναμική των ακτών και των ποτάμιων εκβολών, η αιωρομεταφορά, η δυναμική της βλάστησης, η διακινδύνευση των υποδομών και η μεταξύ τους αλληλοτροφοδότηση, και επομένως καθίσταται δυνατόν να παρέχουν σε τοπική κλίμακα λεπτομερώς προβλέψεις για τις μεταβολές στους υδροτόπους (McLeod et al. 2010, από: Reyes et al. 2009). Τα μειονεκτήματα αυτών των μοντέλων είναι πως απαιτούν εξειδίκευση για να εκτελεστούν (λόγω της συνθετότητάς τους) και πως είναι πολύ ακριβά (>150.000\$ Η.Π.Α.). Επίσης αυτά τα μοντέλα πιθανόν δημιουργήσουν στους χρήστες την λανθασμένη εντύπωση πως τα αυξημένα δεδομένα και οι ανατροφοδοτήσεις που περιλαμβάνουν οδηγούν αυτομάτως και σε πιο ομοιογενή και ρεαλιστικά αποτελέσματα. Τα μοντέλα αυτού του τύπου μπορεί να παρουσιάσουν δυσκολίες στην επικύρωση των αποτελεσμάτων τους και στην βαθμονόμησή τους λόγω του υψηλού βαθμού πρόσμειξης ετερόκλητων στοιχείων, την μακροπερίοδη φύση του μοντέλου και την συνθετότητα των υποσυστημάτων και των αλληλεπιδράσεών τους, με τέτοιο τρόπο ώστε τα πρωταρχικά τους αποτελέσματα να είναι κρίσιμο να επαληθευτούν.

Μοντέλα όπως το BTLESS χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην έρευνα προκειμένου να γίνει αντιληπτή η ανταπόκριση των φυτοκοινοτήτων στις αλλαγές της στάθμης της θάλασσας και στους υπόλοιπους παράγοντες της κλιματικής αλλαγής (π.χ. ξηρασίες, χαμηλότερη ροή στα ποτάμια). Αντιπροσωπεύουν την τελευταία λέξη στην εξέλιξη της έρευνας αναφορικά με τις φυσικές και βιολογικές αλληλεπιδράσεις και λειτουργούν για εμάς σαν υπολογιστικά πειράματα. Αυτός ο τύπος

χωρικού μοντέλου είναι απαιτητικός σε δεδομένα και τείνει να γίνει πιο κοστοβόρος από ότι η μοντελοποίηση που προσανατολίζεται για διοικητικές ή διαχειριστικές εφαρμογές. Ωστόσο με δεδομένη την ολιστική προσέγγιση στις ανατροφοδοτήσεις του μοντέλου από τους οικολογικούς παράγοντες, τον συγκερασμό των πλέον πρόσφατων επιτευγμάτων της βιολογίας αναπτύχθηκαν για πειραματικούς σκοπούς, η προσθήκη σε αυτά διαχειριστικών σεναρίων (π.χ. οι εκτροπές ποταμών, η διαχείριση των παροχών, η αποδόμηση των προστατευτικών νησίδων) είναι απλή και παρέχει ολοκληρωμένες εκτιμήσεις για τις μακροπρόθεσμες επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής και της ανθρωπογενούς παρέμβασης (McLeod, από: Martin et al. 2002) και πληθυσμιακής έρευνας και την αυστηρή ιστορική βαθμονόμηση και επικύρωσή τους, τα μοντέλα αυτά αποτελούν μια δυναμική επιλογή για επιστημονικοκεντρική διαχείριση. Καθότι τα χωρικά αυτά μοντέλα αναπτύχθηκαν για πειραματικούς σκοπούς, η προσθήκη σε αυτά διαχειριστικών σεναρίων (π.χ. οι εκτροπές ποταμών, η διαχείριση των παροχών, η αποδόμηση των προστατευτικών νησίδων) είναι απλή και παρέχει ολοκληρωμένες εκτιμήσεις για τις μακροπρόθεσμες επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής και της ανθρωπογενούς παρέμβασης (McLeod, από: Martin et al. 2002).

3.1.4 Το μοντέλο DIVA (Dynamic Interactive Vulnerability Assessment - μοντέλο δυναμικής διαδραστικής αξιολόγησης της ευπάθειας)

Το DIVA είναι ένα πανοπτικό ολοκληρωμένο μοντέλο έρευνας των παράκτιων συστημάτων το οποίο αποτιμά τόσο τις βιοφυσικές όσο και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις της ανόδου της στάθμης της θάλασσας όπως και αυτές από την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη καθώς και τα οφέλη και το κόστος που θα προκύψουν από μια ενδεχόμενη προσαρμογή (McLeod et al. 2010, από: DINAS - COAST Consortium 2006). Η πρώτη έκδοση του DIVA αναπτύχθηκε στα πλαίσια του χρηματοδοτούμενου από την Ε.Ε. έργου για μια δυναμική, διαδραστική αξιολόγηση της ευπάθειας των παράκτιων ζωνών στην Α.Σ.Θ., σε εθνικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο (DINAS - COST). Το DIVA παράγει ποσοτική πληροφορία σε ένα εύρος οικολογικών, κοινωνικών και οικονομικών δεικτών παράκτιας τρωτότητας από περιφερειακές έως παγκόσμιες κλίμακες καλύπτοντας όλα τα παραθαλάσσια κράτη. Το μοντέλο ακολουθεί κλιματικά και κοινωνικοοικονομικά σενάρια και καλύπτει τις ακόλουθες συνθήκες: παράκτια διάβρωση (άμεση και έμμεση), παράκτια πλημμύρωση (συμπεριλαμβανομένων των ποτάμιων), μεταβολές στου υγροτόπους, και υφαλμύρωση σε δελταϊκές αποθέσεις και εκβολές ποταμών (McLeod et al. 2010, από: Hinkel and Klein 2006, 2009).

Το DIVA πρώτα υπολογίζει την σχετική Α.Σ.Θ. συνδυάζοντας τα σενάρια ανόδου της στάθμης με την κατακόρυφη μετατόπιση της χέρσου σαν αποτέλεσμα της προσαρμογής στην τήξη των πάγων και την προσχώρηση των δελταϊκών σχηματισμών στην θάλασσα. Η απώλεια εδάφους υπολογίζεται στην συνέχεια από την άμεση και έμμεση διάβρωση της ακτής. Η παράκτια διάβρωση έμμεσα δύναται να προκληθεί όταν το ίζημα ρέει από την ανοικτή ακτή σε γειτονικές παλιρροιακές

λιμνολεκάνες, δίνοντας έτσι την δυνατότητα σε εκείνες να διατηρηθούν και να συμβαδίσουν με την αύξηση της Σ.Θ. Οι αλλαγές στον τύπο του υγροτόπου και την έκταση που καταλαμβάνει αξιολογούνται με βάση το ρυθμό της θαλάσσιας ανόδου, το διαθέσιμο για μετακίνηση χώρο και την διαθέσιμη προσφορά ιζημάτων. Το κοινωνικό και οικονομικό κόστος από την παράκτια πλημμύρωση, αξιολογείται με βάση τα δεδομένα των κυματικών καταιγίδων και των χαρακτηριστικών τους (περίοδοι επαναφοράς και παλιρροιακά επίπεδα), καθώς και τον υπό έκθεση πληθυσμό, περιοχή και τα περιουσιακά στοιχεία. Η Α.Σ.Θ. οδηγεί σε μικρότερες μέσες περιόδους επαναφοράς για τα μεγαλύτερα από τα πλημμυρικά γεγονότα. Το DIVA λαμβάνει αυτό το δεδομένο υπ' όψιν του μετατοπίζοντας τις σημερινές τιμές στα χαρακτηριστικά των κυματικών καταιγίδων προς τα πάνω, ακολουθώντας τις παρατηρήσεις για την Α.Σ.Θ. τον 20^ο αιώνα (McLeod et al. 2010, από: Zhang et al. 2000 και Woodworth and Blackman 2004). Η βλάβη που προκαλεί η εισαγωγή αλατότητας στα τμήματα των ποταμών που συνορεύουν με τις ακτές μπορεί να αξιολογηθεί στην έκταση της γεωργικής γης που επηρεάζεται από τον υδροφόρο ορίζοντα του ποταμού και ενδότερα προς την ενδοχώρα. Η εκτίμηση αυτών των επιπτώσεων λαμβάνει επίσης υπ' όψιν την παράκτια αναπροσαρμογή όσον αφορά την αύξηση των αναχωμάτων και την τροφοδοσία των παραλιών και μπορεί να συνυπολογίσει ή μη, διάφορες ειλημμένες στρατηγικές προσαρμογής όπως η μηδενική, η πλήρης και η βέλτιστη προστασία από το άνθρωπο.

Το DIVA έχει σχεδιαστεί για υπολογισμούς και πορίσματα σε παγκόσμιο, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Με μέσο όρο αναφοράς την ανάλυση σε εκτάσεις της τάξης των 70 km στα παράκτια τμήματα, το συγκεκριμένο μοντέλο δεν συνίσταται για την λήψη αποφάσεων και διαχειριστικών μέτρων που αφορούν το τοπικό επίπεδο, παρά όλα αυτά τα αποτελέσματά του, μπορούν να μας υποδείξουν ποιές είναι οι περιοχές που απαιτούν διεξοδικότερη έρευνα και εμβάθυνση και ποιές όχι (McLeod et al. 2010, από: Vafeidis et al. 2008). Το μοντέλο έχει εφαρμοστεί σε μια σειρά εκπαιδευτικών, ακαδημαϊκών και πολιτικών πλαισίων συμπεριλαμβανομένων του υποστηρικτικού προγράμματος της UNFCCC το Hadley Center, στο MIT και στα χρηματοδοτούμενα από την Ε.Ε. ερευνητικά προγράμματα για το οικονομικό κόστος της κλιματικής αλλαγής CLIMATECOST και PESETA (McLeod et al. 2010, από: Richards and Nicholls 2007). Το οικονομικό κόστος και ο χρόνος που απαιτείται για να τρέξει το DIVA και να επεξεργαστεί τα αποτελέσματά του, ποικίλει ανάλογα με την γεωγραφική κλίμακα για την οποία εκτελείται η εφαρμογή και πιο ειδικά αναλόγως με τα διαθέσιμα δεδομένα. Λόγω της πολυπλοκότητάς του το DIVA μπορεί να εφαρμοστεί μόνο από πεπειραμένους χρήστες που είναι εξοικειωμένοι με αυτό και με την βάση δεδομένων που διαθέτει. Οι οικονομικοί πόροι που χρειάζονται για να εφαρμοστεί το μοντέλο βασίζονται στο μέγεθος προεργασίας που είναι απαραίτητο στα διαθέσιμα δεδομένα των G.I.S., καθώς το DIVA προϋποθέτει

έναν μεγάλο κατάλογο χωρικά διακριτών κοινωνικοοικονομικών, βιοφυσικών και οικολογικών παραμέτρων εισόδου.

Το μοντέλο DIVA αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για ολοκληρωμένη ανάλυση της παράκτιας τρωτότητας από παγκόσμια έως εθνική κλίμακα. Αυτό συμβαίνει γιατί καλύπτει όλα τα παράκτια έθνη και περιλαμβάνει τις σχετιζόμενες κοινωνικές, οικονομικές και οικολογικές διεργασίες. Δίνει την δυνατότητα στους χρήστες του να διερευνήσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα παράκτια οικοσυστήματα και τις τοπικές κοινωνίες, να διερευνήσουν το κόστος και τα οφέλη από τις υπάρχουσες επιλογές παράκτιων προσαρμογών, θέτει προτεραιότητες για διεθνή συνεργασία σε σχέση με την κλιματική αλλαγή και την ανάπτυξη και χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα για περεταίρω επιστημονική και πολιτική ανάλυση. Το DIVA προσφέρεται επίσης και για υπερτοπικές συγκρίσεις της ευπάθειας των ακτών τόσο μεταξύ κρατών όσο και μεταξύ διαφορετικών περιοχών μέσα σε μια χώρα.

Λόγω της απουσίας γενικών μοντέλων παγκόσμιας κλίμακας το DIVA δεν συμπεριλαμβάνει μια σειρά από διεργασίες οι οποίες επηρεάζουν τις αλλαγές στην Σ.Θ. Το μοντέλο δεν λαμβάνει υπ' όψιν τις αλλαγές στην συχνότητα και την σφοδρότητα των καταιγίδων οι οποίες είναι αναμενόμενες λόγω της επερχόμενης αλλαγής του κλίματος (McLeod et al. 2010, από: Nicholls et al.2007). Οι συγκεκριμένες αλλαγές θα αυξήσουν την πλημμύρωση των ακτών και την διάβρωσή τους όπως και τις σχετικές καταστροφές όπως έχουμε προαναφέρει και το κόστος της προσαρμογής. Όπως και αν έχει βάσιμες προβλέψεις στις αλλαγές των χαρακτηριστικών των καταιγίδων δεν μπορούν να γίνουν σήμερα με φειδώ (McLeod et al. 2010, από: von Storch and Woth 2008). Για τον ίδιο λόγο η προσαύξηση και η ανθρωπογενής καθίζηση (π.χ. η εξαγωγή υπόγειου νερού) δεν περιλαμβάνονται στο μοντέλο λόγω των περιορισμένων δεδομένων τα οποία εντούτοις παίζουν σημαντικό ρόλο σε ορισμένες περιοχές όπως είναι τα πυκνοκατοικημένα Δέλτα των ποταμών.

Λόγω του παγκόσμιου πεδίου της εφαρμογής αυτού του μοντέλου και της παράλληλης έλλειψης γενικών μοντέλων αυτής της κλίμακας το DIVA αντιλαμβάνεται το εύρος διαθέσιμων επιλογών για την προσαρμογή πολύ στενό, ενώ αντιθέτως η παράκτια διαχειριστική περιλαμβάνει ένα πολύ ευρύτερο φάσμα (McLeod et al. 2010, από: Klein et al. 2001). Για παράδειγμα το μοντέλο δεν μπορεί να λάβει υπ' όψιν του την προσαρμογή η οποία βασίζεται στα οικοσυστήματα (π.χ. η προστασία των υγροτόπων, οι οποίοι λειτουργούν αμυντικά για χάρη των ακτών προστατεύοντας τις από τις επιπτώσεις των κυματικών καταιγίδων και την Α.Σ.Θ.) ή άλλα μέτρα προσαρμογής όπως η κατασκευή φραγμών για την είσοδο του αλμυρού νερού και περαιτέρω εισχώρησή του στα ενδότερα των λεκανών με αποτέλεσμα την υποβάθμιση καλλιεργήσιμων εκτάσεων.

3.1.5 Το μοντέλο SimCLIM

Το SimCLIM είναι ένα λογισμικό σύστημα μοντελοποίησης το οποίο κάνει προσομοίωση χρονικά και χωρικά των βιοφυσικών επιπτώσεων και των κοινωνικοοικονομικών αποτελεσμάτων της κλιματικής μεταβλητότητας και αλλαγής (McLeod et al. 2010, από: Warrick et al. 2005). Το σύστημα αρχικά αναπτύχθηκε από το Διεθνές Ινστιτούτο Παγκόσμιας Αλλαγής (International Global Change Institute) του Πανεπιστημίου Waikato της Ν. Ζηλανδίας (McLeod et al. 2010, από: IGCI 2005) και τώρα υποστηρίζεται και διανέμεται από την εταιρία CLIMsystems ε.π.ε που εδρεύει στο Χάμιλτον της Ν. Ζηλανδίας (McLeod et al. 2010, από: Warrick et al. 2009). Το λογισμικό SimCLIM δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να αναπτύσσουν σενάρια των μελλοντικών αλλαγών του κλίματος και της Σ.Θ., να εξετάσουν τις επιπτώσεις που εκείνες θα έχουν κατά τομέα και να διεξάγουν αναλύσεις ευαισθησίας. Το σύστημα μοντελοποίησης μπορεί να χρησιμοποιήσει τα αποτελέσματα εξόδου από μεμονωμένα Μοντέλα Γενική Κυκλοφορίας της Ατμόσφαιρας (General Circulation Models - GCM) ή από “σύνολα” GCM (δηλαδή μέσους όρους από πολλαπλές εφαρμογές των GCM). Αυτά τα δεδομένα και μοντέλα περιέχουν ενδεικτικά: πληροφορίες όπως υψομετρικά στοιχεία, στοιχεία χρονοσειρών από ιστοσελίδες, προβολές των μελλοντικών αλλαγών του κλίματος και της στάθμης της θάλασσας από τα GCM και μοντέλα επιπτώσεων τα οποία είναι προσανατολισμένα στην παρακολούθηση του κλίματος και άλλων μεταβλητών. Τα μέτρα προσαρμογής μπορούν να υποβληθούν σε έλεγχο για τις σημερινές συνθήκες και για τα μελλοντικά σενάρια κλιματικής αλλαγής και εν γένει μεταβλητότητας. Σε ορισμένες ειδικά προσαρμοσμένες εφαρμογές του SimCLIM, το χρηματικό κόστος και τα οφέλη των επιλογών προσαρμογής για την μείωση των κινδύνων έχουν εκτιμηθεί, γεγονός χρήσιμο στην υποστήριξη εργαλείων για την λήψη αποφάσεων και την αξιολόγηση των επιλογών προσαρμογής.

Το SimCLIM έχει εφαρμογή από τοπική έως παγκόσμια κλίμακα. Το μέγεθος της γεωγραφικής έκτασης και της χωρικής ανάλυσης καθορίζεται από τα διαθέσιμα δεδομένα και τις υπολογιστικές απαιτήσεις. Τα εργαλεία που υπάρχουν στα πλαίσια του SimCLIM μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να υπάρξει παρεμβολή μεταξύ δεδομένων με διαφορετική χωρική ανάλυση. Σε όρους παράκτιων επιπτώσεων το συγκεκριμένο μοντέλο περιλαμβάνει έναν δημιουργό σεναρίων για την Σ.Θ., ο οποίος επιτρέπει τον συνυπολογισμό περιφερειακών και τοπικών συντελεστών (π.χ. κατακόρυφες μετακινήσεις γαιών) της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας. Εκτάσεις δυνητικά πλημμυροπαθείς μπορούν να προσδιοριστούν χρησιμοποιώντας ειδικά σχεδιασμένα εργαλεία (G.I.S. extensions) μαζί με ψηφιακά υψομετρικά δεδομένα (όπως περιγράφεται παραπάνω). Το SimCLIM επίσης περιέχει ένα μοντέλο προσομοίωσης των αλλαγών της ακτογραμμής για τα παράλια συστήματα και τους αμμόλοφους. Αυτό το μοντέλο βασίζεται σε μια παραλλαγή του κανόνα του Bruun (McLeod et al. 2010, από: Bruun 1962), ο οποίος λαμβάνει υπ' όψιν του τα αποτελέσματα των

καταιγίδων, την τάση της Σ.Θ. τοπικά και τις επιρροές των σφαλμάτων στο αποτέλεσμα προκειμένου να υπολογιστούν τα χρονικά σημεία στα οποία θα συντελεστούν οι αλλαγές στην ακτογραμμή από την άνοδο της στάθμης σε επιλεγμένα σημεία (McLeod et al. 2010, από: Abuodha and Woodroffe 2006). Τα δεδομένα εισόδου περιλαμβάνουν την χρονική εξέλιξη της ακτογραμμής/ έτος, την απόσταση στην οποία καταλήγει η ακτογραμμή (m) το βάθος του υλικού ανταλλαγής ή το απότατο σημείο (m), το ύψος των αμμόλοφων (m) και την μετακίνηση της υπολειπόμενης ακτογραμμής (m/ έτος). Το αποτέλεσμα εξόδου είναι η καταγραφή μιας κατά έτος αλλαγής στην σχετική θέση της ακτογραμμής έως το έτος 2100. Λόγω της επιρροής που ασκούν οι τυχαίες καταιγίδες και το υπολογιστικό σφάλμα στην προσομοίωση της ακτογραμμής υπερετήσιες και υπερδεκαετείς μεταβολές μπορούν να προσομοιωθούν και να ενσωματωθούν ρεαλιστικά με πιο μακροπρόθεσμες τάσεις λόγω της μέσης μεταβολής της στάθμης της θάλασσας.

Οι εφαρμογές του SimCLIM είναι πολλές και διαφορετικές. Για παράδειγμα χρησιμοποιώντας τους δημιουργούς σεναρίων για το κλίμα και την Α.Σ.Θ. μαζί με προσαρμοσμένα μοντέλα επιπτώσεων το SimCLIM χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογήσει τον κίνδυνο παράκτιας πλημμύρας από τροπικούς κυκλώνες και ποτάμιες πλημμύρες στις νήσους του Κουκ και στις Ομόσπονδες Πολιτείες της Μικρονησίας (McLeod et al. 2010, από: Warrick et al. 2005 και A.D.B. 2005). Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν τα άμεσα διαθέσιμα γενικά εργαλεία στο SimCLIM συνυπολογίζουν τις επιπτώσεις από την αλλαγή της βροχόπτωσης στο Πάρκο Παγκόσμιας Κληρονομιάς «Border Ranges» στο Queensland της Αυστραλίας και τους κινδύνους της κλιματικής μεταβλητότητας και την αλλαγή στα συστήματα ταμειωτήρων νερού οικιακής χρήσης στο Νοτιοανατολικό Queensland (McLeod et al. 2010, από: Warrick 2007, 2009).

Το SimCLIM είναι αδειοδοτημένο για εμπορική χρήση και έχει σχεδιαστεί για πάνω από 30 χώρες. Οι ομάδες χρηστών περιλαμβάνουν κυβερνητικές υπηρεσίες, τοπικά συμβούλια, φοιτητές, ακαδημαϊκούς, μηχανικούς και σύμβουλους περιβάλλοντος. Το κόστος για την άδεια χρήσης του έχει μεγάλη διακύμανση από την φοιτητική άδεια έως την πλήρη εμπορική άδεια χρήσης.

Τα πλεονεκτήματα του SimCLIM είναι πώς: μπορεί να τρέξει σε πολλές και διαφορετικές γεωγραφικές και χρονικές κλίμακες κατάλληλες για την αξιολόγηση των επιπτώσεων και της προσαρμογής, είναι φιλικό στον χρήστη και γρήγορο στην εκτέλεσή του, είναι ευέλικτο στην δημιουργία σεναρίων και στην διερεύνηση αβεβαιοτήτων, διαθέτει εργαλεία τόσο για χρονοσειρές όσο και για χωρικές αναλύσεις, και δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να μελετήσει την μεταβλητότητα του κλίματος και τις ακραίες εκδοχές όπως και την μακροχρόνια αλλαγή. Αυτά τα γνωρίσματα είναι που το καθιστούν χρήσιμο για την πληροφόρηση των στρατηγικών προσαρμογής. Επιπλέον ο δημιουργός σεναρίων για το επίπεδο της Σ.Θ. επιτρέπει την γρήγορη δημιουργία του με βάση τον κάθε τόπο και την άνοδο που θα συντελεστεί στον καθένα αντίστοιχα. Τα σενάρια αυτά

προσμετρούν κάποιες αβεβαιότητες σχετικά με τα σενάρια εκπομπών και τις διαφορές κατά περιφέρεια σε ότι αφορά την θερμική διαστολή των ωκεανών αλλά δεν μπορούν να προσμετρήσουν την ισοστατική αλλαγή από την τήξη των πάγων. Η δομή του SimCLIM το καθιστά εύχρηστο καθώς οι χρήστες του έχουν την ευελιξία να ενσωματώσουν τα δικά τους σύνολα δεδομένων και μοντέλα ώστε να προσαρμόσουν το σύστημα για συγκεκριμένες χρήσεις. Παράδειγμα για παραπάνω αποτελούν τα υδρολογικά μοντέλα DHI (McLeod et al. 2010, από: Warrick and Cox 2007) και τα μοντέλα καλλιεργείων DSSAT που επιτρέπουν στους χρήστες τους να υπολογίσουν την επικείμενη κλιματική αλλαγή στις αναλύσεις τους. Το σύστημα επιτρέπει την δημιουργία πολλαπλών σεναρίων και ενημερώνεται εύκολα μόλις υπάρξουν νέα δεδομένα διαθέσιμα.

Στα αρνητικά συγκαταλέγονται πως λόγω του ότι το SimCLIM είναι ένα σύστημα μοντελοποίησης που περιλαμβάνει έναν μεγάλο όγκο δεδομένων, μοντέλων και εργαλείων και όχι ένα μοντέλο, ρητά οι περιορισμοί του αφορούν περισσότερο στην ποιότητα των δεδομένων και των εργαλείων προς εισαγωγή. Οι δημιουργοί των σεναρίων χρησιμοποιούν την προσέγγιση κλιμακωτών βαθμίδων η οποία είναι περιορισμένη γιατί κάνει την παραδοχή ότι οι βαθμίδες αυτές της κλιματικής αλλαγής παραμένουν σταθερές ανεξάρτητα από άλλες πιέσεις και χρονικές περιόδους. Η συνθήκη αυτή ισχύει για τις περισσότερες εκτελέσεις των GCM μοντέλων αλλά όχι για όλες. Το μοντέλο της παράκτιας διάβρωσης που περιέχεται στο SimCLIM λαμβάνει υπόψη του μόνο μια τροποποιημένη εκδοχή του νόμου του Bruun και θα μπορούσε να βελτιωθεί εάν περιλαμβάνονταν και άλλα παράκτια μοντέλα (McLeod et al. 2010, από: Abuodha and Woodroffe 2006) (π.χ. τα μοντέλα των Cowell κ.α.) (McLeod et al. 2010, από: Cowell et al. 2006).

3.1.6 Άλλα μοντέλα

Τα μοντέλα που περιεγράφηκαν παραπάνω σαφώς και δεν είναι όλα όσα υπάρχουν. Προσφάτως μια σειρά αριθμητικών μοντέλων, 2D και 3D, έχουν χρησιμοποιηθεί για συνεκτικές προσομοιώσεις των αλλαγών της ακτογραμμής και των επιπτώσεων σ αυτήν από τις καταιγίδες όπως είναι το Delf3D (McLeod et al. 2010, από: Vitousek et al. 2007) και το MIKE 3FM (McLeod et al. 2010, από: DHI 2006).

Το Delf3D, αναπτύχθηκε από την WL/Delft Hydraulics και είναι ένα σύστημα μοντελοποίησης για την μελέτη της υδροδυναμικής, της μεταφοράς και την μορφολογίας των ιζημάτων, της ποιότητας των υδάτων στις κοίτες και στις εκβολές των ποταμών και στο παράκτιο περιβάλλον. Παρακολουθεί μια σειρά φυσικών διαδικασιών όπως: οι ριπές του ανέμου, η δυναμική των κυμάτων και των παλιρροιών, η συγκέντρωση των απορροών και η διαστρωμάτωση λόγω της αλατότητας και/ή της θερμοκρασιακής διαβάθμισης, οι αλλαγές στην ατμοσφαιρική πίεση και η εκκένωση και η πλημμύρωση παλιρροιακών διαμερισμάτων (McLeod et al. 2010, από: Lesser et al. 2004). Το Delf3D έχει χρησιμοποιηθεί για να αναπαρασταθούν τα υπό μελέτη πρότυπα της μεταφοράς ιζημάτων

(Mcleod et al. 2010, από: Lesser et al. 2004) όπως και για να αναπαρασταθεί με λεπτομέρειες η υδροδυναμική συμπεριφορά (Mcleod et al. 2010, από: Elias 2000 και Walstra et al. 2000). Τα μοντέλα ροής MIKE 21 και MIKE 3 είναι συστήματα μοντελοποίησης δύο και τριών διαστάσεων αντίστοιχα που έχουν αναπτυχθεί από την DHI για χρήση σε πολύπλοκες εφαρμογές σε περιβάλλον είτε ωκεανογραφίας, είτε ακτινομηχανικής είτε ποτάμιων εκβολών (Mcleod et al. 2010, από: DHI 2006). Το MIKE 3 περιλαμβάνει τις εξής ενότητες: την Υδροδυναμική, την ενότητα Μεταφοράς, την ενότητα Οικολογίας και ποιότητας Νερού, την ενότητα μεταφοράς της Άμμου, την ενότητα μεταφοράς Λάσπης και την ενότητα Φασματικών Κυμάτων. Το παραπάνω πρόγραμμα είναι σε θέση να προσομοιώσει συνδεδεμένες μεταξύ τους διαδικασίες π.χ. η σύνδεση μεταξύ απορροών, κυμάτων και φερτών υλών. Το μοντέλο MIKE 21 έχει χρησιμοποιηθεί για την έρευνα την παράκτιας και την ωκεάνιας κυκλοφορίας, την βελτιστοποίηση των λιμενικών υποδομών και των υποδομών για την προστασία των ακτών, την υδροδυναμική των λιμνών και της φυσικής αποθηκευτικότητας του νερού, την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, την καθίζηση και την παράκτια πλημμύρωση και τις κυματικές καταγίδες (Mcleod et al. 2010, από: DHI 2006 και Peterson and Rasch 2005).

Τα αριθμητικά 3D μοντέλα (π.χ. όπως είναι το Delft3D και το MIKE3 Flow Model) είναι ακόμα στα πρώτα στάδια ανάπτυξής τους (Mcleod et al. 2010, από: Schwartz 2005) και απαιτείται πολύ περισσότερη έρευνα και δοκιμή σε σχέση με το ιστορικό που υπάρχει στα γεωλογικά χρονικά και στις σημερινές φυσικές διεργασίες προκειμένου να μπορούν να συμβάλουν στην λήψη αποφάσεων (Mcleod et al. 2010, από: Gutierrez et al. 2007). Τα παραπάνω μοντέλα απαιτούν ειδικές τιμές για παραμέτρους όπως το κυματικό καθεστώς και η μεταφορά ιζημάτων κατά μήκος της ακτής ή πέρα από αυτήν οποίες είναι πολύ δυσεύρετες στους ερευνητές (Mcleod et al. 2010, από Schwartz 2005). Ο επιπρόσθετος χρόνος που χρειάζονται υπολογιστικά τα 3D μοντέλα τα καθιστούν επίσης δύσχρηστα στους ειδικούς και τους ενδιαφερόμενους τη χάραξη αναπτυξιακών πολιτικών (Mcleod et al. 2010, από: Gleizon et al. 2003). Εν τέλει τα αποτελέσματα των αριθμητικών μοντέλων μπορεί να είναι άστοχα σε περίπτωση που τα τοπικά δεδομένα και η πείρα του μηχανικού απουσιάζουν όπως επίσης και η εκτεταμένη γνώση της περιοχής που προσομοιώνεται είναι απαραίτητη από τον χρήστη τους (Mcleod et al. 2010, από: Schwartz 2005).

Πίνακας 3.1 Αντικείμενα των μοντέλων των επιπτώσεων της Α.Σ.Θ. στις ακτές

<u>Οργανισμοί</u>	<u>Αντικείμενο</u>	<u>Κλίμακα</u>	<u>Όνομα μοντέλου</u>
<u>Η UNFCCC και άλλοι διεθνείς οργανισμοί</u>	<p><i>Η ενημέρωση των διεθνών διαπραγματεύσεων και των εθνικών κυβερνήσεων σχετικά με τον μετριασμό (π.χ. τον μετριασμό των εκπομπών από τα ορυκτών καυσίμων) και την προσαρμογή (π.χ. πολιτικές των χρήσεων γης και χρηματοδοτικές πιστώσεις για την προσαρμογή) και την αναπτυξιακή πολιτική ως εξής:</i></p> <p><i>Παρέχοντας πληροφορίες οι οποίες θα βοηθούν στην σύγκριση του κινδύνου από την άνοδο της στάθμης σε ευρεία κλίμακα (π.χ. σε επίπεδο περιφέρειας).</i></p> <p><i>Εντοπίζοντας τις ευάλωτες περιοχές οι οποίες ξεπερνούν τα εθνικά σύνορα μιας χώρας και χρήζουν της συνεργασίας μεταξύ των κυβερνήσεων.</i></p>	<p>Παγκόσμια/ Περιφερειακή</p>	<p>DIVA, SimCLIM</p>
<u>Κυβερνητικές υπηρεσίες</u>	<p><i>Η πρόοδος των εθνικών στρατηγικών προσαρμογής (π.χ. η υλοποίηση μιας κυβερνητικής δέσμευσης στο πλαίσιο της UNFCCC για τη μείωση της ευπάθειας στην κλιματική αλλαγή)</i></p> <p><i>Καταρτίζοντας εθνικές μελέτες για την ευπάθεια σε μικρές νησιωτικές χώρες.</i></p> <p><i>Ιεραρχώντας ψηλότερα τις πλέον τρωτές περιοχές οι οποίες χρήζουν περαιτέρω ανάλυσης.</i></p>	<p>Παγκόσμια/ Περιφερειακή/ Τοπική¹⁸</p>	<p>DIVA, SimCLIM</p>
<u>Περιβαλλοντικές οργανώσεις</u>	<p><i>Η ανάλυση των μελλοντικών ενδεχόμενων για ανταγωνιστικές χρήσεις γης μεταξύ της ανθρώπινης δραστηριότητας και των παράκτιων ενδιαιτημάτων σαν αποτέλεσμα της μετακίνησης τους.</i></p>	<p>Τοπική</p>	<p>SLAMM, BTELSS, Inundation model (e.g., G.I.S.)</p>

¹⁸ Ο χαρακτηρισμός τοπικό αναφέρεται σε γεωγραφικές εκτάσεις με εύρος $1\text{km}^2 - 10\text{km}^2$

<u>Περιβαλλοντικές οργανώσεις</u>	<i>Η εκτίμηση της ευαισθησίας των παράκτιων ενδιαιτημάτων (π.χ. mangroves, άλλοι παραθαλάσσιοι υγρότοποι, νησίδες - φραγμοί, παραλίες) των ειδών (π.χ. θαλάσσια χελώνα, ενδημικά πτηνά) στις επιπτώσεις της άνοδου της στάθμης.</i>	Τοπική	SLAMM, BTELSS, Inundation model (e.g., G.I.S.)
<u>Περιβαλλοντικές οργανώσεις και αναπτυξιακοί φορείς</u>	<i>Ο προσδιορισμός των οικοσυστημάτων, των πληθυσμών, των υποδομών, της γεωργίας και των υδατικών πόρων που πρέπει να μετεγκατασταθούν λόγω των επιπτώσεων της άνοδου της στάθμης .</i>	Τοπική	SimCLIM, Inundation model (e.g., G.I.S.)
<u>Περιβαλλοντικές οργανώσεις και εκπαιδευτικά ιδρύματα</u>	<i>Η περαιτέρω ευαισθητοποίηση σχετικά με τις επιπτώσεις στα παράκτια οικοσυστήματα και στις κοινωνίες από την Α.Σ.Θ.</i>	Παγκόσμια/ Περιφερειακή/ Τοπική	<i>Όλα τα μοντέλα που προαναφέρθηκαν</i>

3.2 Μεθοδολογική προσέγγιση

3.2.1 Επιλογή μοντέλου

Η μεθοδολογία που επιλέχθηκε και τελικά εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία είναι εκείνη των inundation models, των πλημμυρικών δηλαδή μοντέλων για τους εξής λόγους:

- Ενδείκνυνται για την ανάπτυξη σεναρίων πλημμύρυνσης από άνοδο στάθμης της θάλασσας σε τοπική κυρίως κλίμακα όπως αυτή της Μεσσηνίας.
- Η υλοποίησή τους μέσα από τα G.I.S. τα καθιστά προσιτά στον χρήστη, όσο και από πλευράς εξειδίκευσης καθώς είναι σχετικά εύχρηστα και απλότερα στην εκμάθησή τους από τις υπόλοιπες επιλογές που προαναφέρθηκαν ενώ τα περισσότερα από τα δεδομένα εισόδου που απαιτούν είναι ελεύθερα διαθέσιμα στο διαδίκτυο.

Παρόλα αυτά αναγνωρίζεται πως η εφαρμογή και των υπόλοιπων μοντέλων στην Π.Ε. Μεσσηνίας θα έχει αποκαλυπτικό χαρακτήρα για την επερχόμενη Α.Σ.Θ.

3.2.2 Επιλογή Σεναρίων

Με βάση την βιβλιογραφική αναδίφηση που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 1, τελικά εξάγονται τα εξής συμπεράσματα που έθεταν το απαραίτητο πλαίσιο επιλογής των σεναρίων προς διερεύνηση:

- Στη Μεσσηνία η Σ.Θ. δε φαίνεται να ξεπερνά τα 0,5m κατά την άνοδό της στα τέλη του 21^{ου} αιώνα σύμφωνα με την βιβλιογραφία που περιλαμβάνει την συγκεκριμένη περιοχή.

- Παρότι αναφέρθηκαν οι έννοιες της τεκτονικής μεταβολής, της διάβρωσης και της παράκτιας τρωτότητας και παρουσιάστηκαν τιμές που να αφορούν την περιοχή μελέτης για αυτές τις μεταβλητές εντούτοις επιλέχθηκε να μην προσμετρηθούν στις τιμές των ήδη υπάρχοντων σεναρίων. Ο λόγος ήταν πως στις περισσότερες τιμές σεναρίων που παρουσιάστηκαν είχαν χρησιμοποιηθεί σύνθετα μοντέλα που τις λαμβάνουν υπόψη.

- Αντίθετα συνυπολογίζεται η τοπική ιδιαιτερότητα και μοναδικότητα της περιοχής μελέτης εξετάζοντας ειδικά ένα σενάριο Α.Σ.Θ. με βάση την ιστορική εξέλιξη της ακτογραμμής της, η οποία προκύπτει λόγω συνδυασμού των παραγόντων (διάβρωση, τρωτότητα, τεκτονισμός, κλπ.).

- Η IPCC αποτελεί σημείο αναφοράς για την μελέτη της Α.Σ.Θ. εξ ου και το πλήθος των εργασιών στην παγκόσμια βιβλιογραφία που έπονται κάθε φορά των εκθέσεων της. Ως εκ τούτου, η μη διερεύνηση κάποιου από τα σενάρια της τελευταίας έκθεσης θα ήταν παράληψη.

Συνεπώς, ο κορμός των σεναρίων που επιλέξαμε συνοψίζεται στη συνέχεια (βλ. και Πίνακα 3.1):

1. Δύο (2) σενάρια Α.Σ.Θ. με βάση τον ρυθμό από πρόσφατη έρευνα των *Bonaduce et al. (2016)* και τις τιμές για τον σταθμό τις Καλαμάτας την περίοδο 1993 - 2012. Στο κατώτερο όριο είναι η τιμή από τις δορυφορικές παρατηρήσεις του πειράματος και στο ανώτερο η τιμή από τον σταθμηγράφο. Η συγκεκριμένη έρευνα επιλέχθηκε με κριτήριο το ότι είναι πολύ πρόσφατη, μεγάλης πειραματικής επιφάνειας (όλη η Μεσόγειος).
2. Δύο (2) σενάρια Α.Σ.Θ. με βάση τον ρυθμό από επίσης πρόσφατη έρευνα του *E.E.A. (2016)* και τις τιμές για το Ν. Ιόνιο και ειδικότερα τη Μεσσηνία την περίοδο 1992 - 2014. Η εν λόγω έρευνα επιλέχθηκε λόγω του ότι ήταν εξίσου πρόσφατη και είχε το κύρος του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος.
3. Σενάριο Α.Σ.Θ. με βάση τις τιμές του R.C.P.8,5 (δυσμενέστερου μελλοντικού σεναρίου) της 5ης και πιο πρόσφατης έκθεσης της IPCC του 2013. Το κριτήριο επιλογής και εφαρμογής ενός τέτοιου σεναρίου για την περιοχή μελέτης περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο.
4. Σενάριο Α.Σ.Θ. με βάση τις τιμές που προέκυψαν ως ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής της Μεσσηνίας από το 1945 έως το 2009.

Τα παραπάνω παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 Πίνακας σεναρίων Α.Σ.Θ. που εφαρμόστηκαν στην εργασία (Ίδια επεξεργασία)

<u>A/A:</u>	<u>Ρυθμός Α.Σ.Θ. με έτος βάσης το 2009 (εύρος):</u>	<u>Τιμή Ανόδου Στάθμης το 2100 με έτος βάσης το 2009 (εύρος):</u>	<u>Περίοδος Αναφοράς:</u>	<u>Πηγή προέλευσης:</u>

1.	2,13 - 3,78 mm / έτος	0,194 - 0,352 m	1993 - 2012	Bonaduce et al. 2016
2.	3 - 4 mm / έτος	0,273 - 0,364 m	1992 - 2014	E.E.A. 2016
3.	5,82 - 10,77 mm / έτος	0,53 - 0,98 m	1986 - 2005	IPCC 2013
4.	Ρυθμός & άνοδος/ τομέα που προέκυψε από την ψηφιοποίηση		1945 - 2009	ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.

3.2.3 Επιλογή Περιοχών εφαρμογής

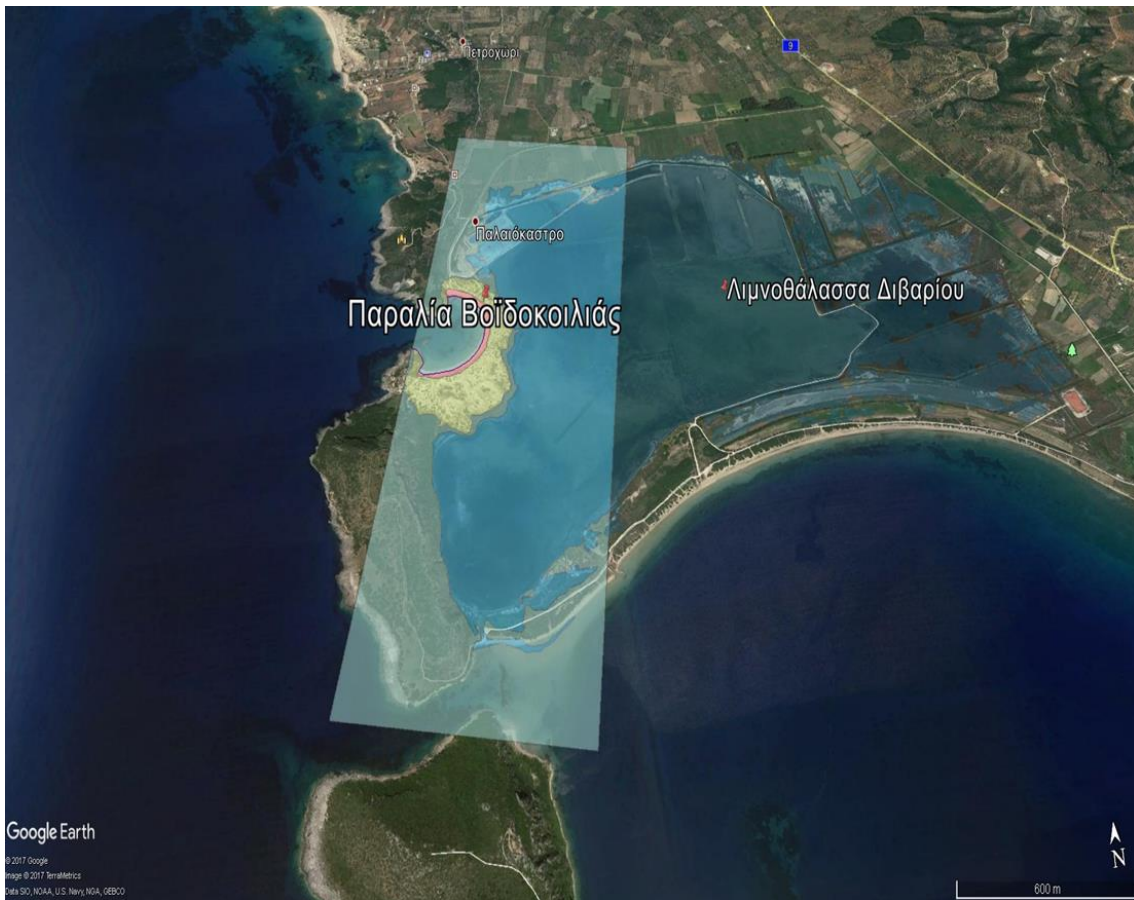
Από το σύνολο της Π.Ε. Μεσσηνίας επιλέχθηκαν τρεις διαφορετικές περιοχές εφαρμογής που παρουσιάζουν διαφορετικά μεταξύ τους χαρακτηριστικά προκειμένου να ερευνηθούν οι επιπτώσεις σε διαφορετικές λειτουργίες, είτε φυσικές είτε ανθρωπογενείς.

Οι περιοχές που επιλέχθηκαν είναι:

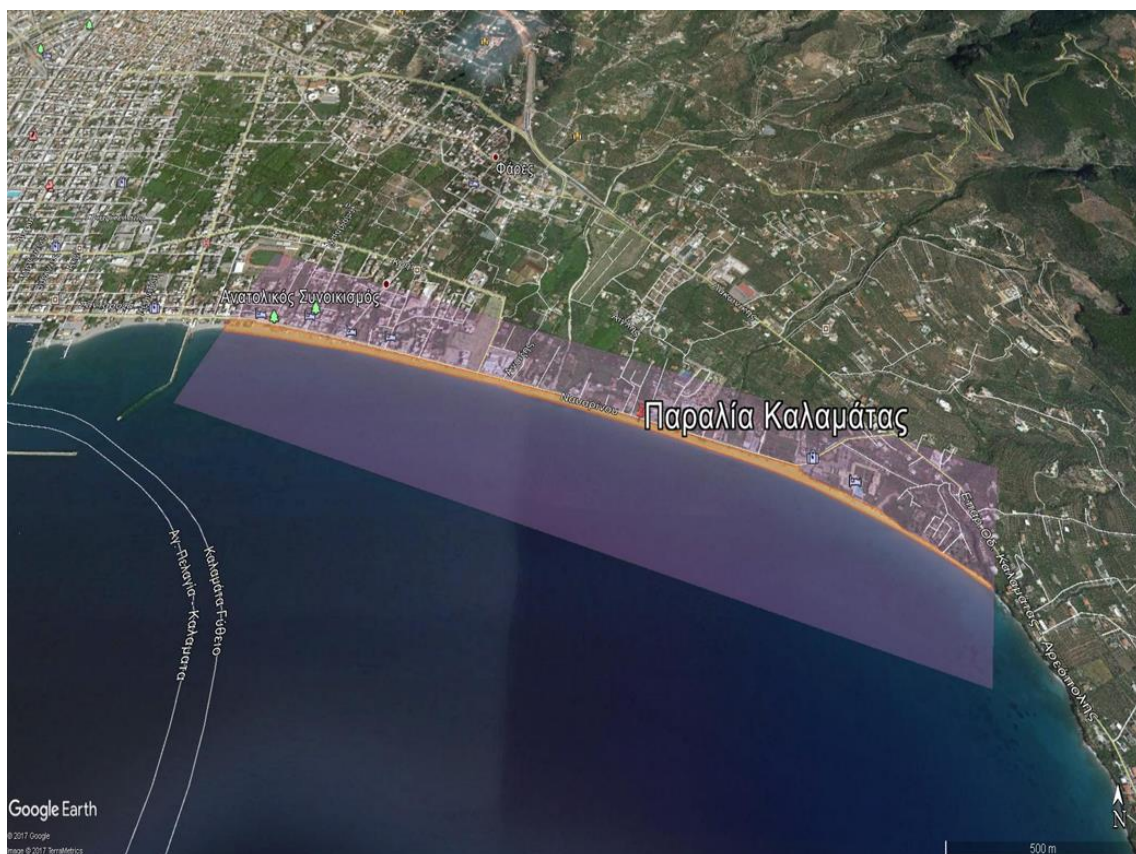
- A. Η παραλία «Navarino Dunes» (Σχήμα 3.1) στην Δυτική Μεσσηνία επίσης γνωστή για το φυσικό κάλος, την υποδοχή πολλών επισκεπτών και ειδικότερα τα τελευταία χρόνια λόγω της ανάπτυξης μιας μεγάλης τουριστικής μονάδας (Westin Resort Costa Navarino).
- B. Η «παραλία Βοϊδοκοιλιάς» (Σχήμα 3.2) στην Δυτική Μεσσηνία γνωστή για το ιδιαίτερο φυσικό - οικολογικό κάλος της και την λιμνοθάλασσα Διβαρίου που συνορεύει μαζί της και αποτελεί ένα σπάνιο υγρότοπο- καταφύγιο πολλών ειδών μεταξύ των οποίων και αποδημητικά.
- C. Η ακτή Ναβαρίνου ή «παραλία Καλαμάτας» (Σχήμα 3.3) η οποία αναπτύσσεται στον κόλπο της Καλαμάτας στην έκταση Ανατολικά του λιμένα της πόλης μέχρι την επαρχιακή οδό Καλαμάτας - Αρεόπολης. Η ακτή χαρακτηρίζεται από πολύ σημαντική οικιστική φόρτιση μιας και βρίσκεται εντός αστικού ιστού καθώς και τουριστική μιας και η παραλία αναλαμβάνει μεγάλο φόρτο επισκεπτών, κατέχει για το 2017 γαλάζια σημαία και στα όριά της φιλοξενεί πλήθος ξενοδοχειακών και επισιτιστικών μονάδων.



Σχήμα3.1 Πρώτη περιοχή: «παραλία Navarino Dunes» (ίδια επεξεργασία από Google maps)



Σχήμα3.2 Δεύτερη περιοχή: «παραλία Βοϊδοκοιλιάς» (ίδια επεξεργασία από Google maps)



Σχήμα 3.3 Τρίτη περιοχή: «παραλία Καλαμάτας» (ίδια επεξεργασία από Google maps)

Συγκεντρωτικά οι εκτάσεις των παραπάνω περιοχών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.3

Πίνακας 3.3 Πίνακας κατάταξης περιοχών εξειδίκευσης / έκταση (m² & στρέμματα) σε αύξουσα σειρά

A/A	Περιοχή εξειδίκευσης	Έκταση (m ²)	Έκταση (στρέμματα)
1	παραλία Βοϊδοκοιλιάς	21.120	21,12
2	παραλία Καλαμάτας	68.610	68,61
3	παραλία «Navarino Dunes»	133.491	133,491

3.2.4 Εφαρμογή μεθοδολογίας σε περιβάλλον G.I.S. - Μέθοδοι και Υλικά

Όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, βασικό εργαλείο της ερευνάς υπήρξε το λογισμικό G.I.S. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η έκδοση ArcMap 10.4 της εταιρίας ESRI ύστερα από δωρεάν εγκατάσταση του λογισμικού μαθητείας (Free trial) από το επίσημο site της (<http://www.esri.com/arcG.I.S./trial>).

Αρχική και αναγκαία συνθήκη σύμφωνα με την θεωρία των G.I.S. ήταν η σύνθεση και ανάλυση του D.E.M. Σκοπός ήταν να χρησιμοποιηθεί ένα D.E.M. όσο το δυνατόν μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης και αξιοπιστίας προκειμένου να αναπτύξουμε σενάρια Α.Σ.Θ. που θα απέδιδαν ακριβή αποτελέσματα

στην απώλεια εδάφους της Μεσσηνίας. Για τα παραπάνω συντέθηκε το D.E.M. της Μεσσηνίας από σύνθεση υποσυνόλων τα οποία ήταν σε μορφή 35 κανονικοποιημένων (raster) αρχείων ανάλυσης pixel 5x5 m (Πηγή: Ε.Κ.ΧΑ.).

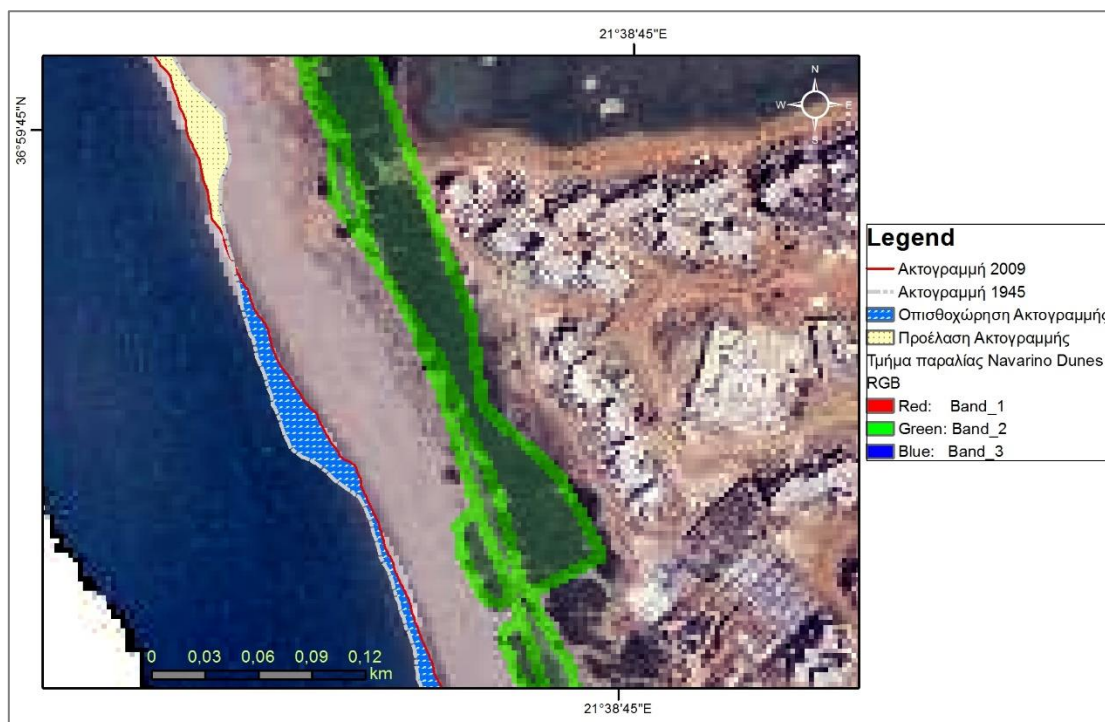
Αναφορικά με το τέταρτο υπό μελέτη σενάριο (διαχρονική μεταβολή της ακτογραμμής), ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

1. Από το site του Εθνικού Κτηματολογίου και συγκεκριμένα από την εφαρμογή που δημιουργήθηκε για την ανάρτηση των Δασικών χαρτών στο διαδίκτυο με βάση τον νόμο 4389/2016 ήταν εφικτή η ελεύθερη την πρόσβαση σε αεροφωτογραφίες του 1945.
2. Από την εργαλειοθήκη της εφαρμογής αυτής ο χρήστης μπορεί να σκιαγραφήσει σε πολύγωνο μαζί με το οποίο η εφαρμογή εμφανίζει τις συντεταγμένες του. Επομένως ήταν εύκολη η γεωαναφορά των αεροφωτογραφιών του 1945 από τα παράλια της Μεσσηνίας.
3. Έχοντας στο περιβάλλον εργασίας του ArcMap τις αεροφωτογραφίες του 1945 των Παραλίων της Μεσσηνίας προκειμένου να βρίσκονται σε απόλυτη ενάργεια και να καταστεί επιτυχής η ψηφιοποίηση της παλιάς ακτογραμμής προσεκτικά προστέθηκε ένα ακόμα σημείο γεωαναφοράς που να είναι κοινό σε δυο συνεχόμενες αεροφωτογραφίες.
4. Ακολούθησε ομοιοτρόπως η ψηφιοποίηση της ακτογραμμής της Π.Ε. Μεσσηνίας.
5. Με τον ίδιο τρόπο έγινε και η εισαγωγή και των ορθοφωτοχαρτών (Large Scale Orthophotomaps) των ακτών της Μεσσηνίας οι οποίοι είχαν ημερομηνία ολοκλήρωσης το 2009.
6. Έγινε επίσης η γεωαναφορά τους και στην συνέχεια ψηφιοποιήθηκε η νέα ακτογραμμή, δηλαδή η ακτογραμμή του 2009.

Από την εργασία της ψηφιοποίησης ήταν εμφανή δύο στοιχεία:

- Πρώτον η νέα ακτογραμμή του 2009 σημείωνε *συνολικά υποχώρηση* σε σχέση με την ιστορική του 1945.
- Δεύτερον η υποχώρηση αυτή δεν υπήρχε συνεχόμενα. Αντίθετα η ακτογραμμή εξελισσόταν σαν ένα συνεχές ισοζύγιο φερτών υλών διαμορφωμένο από το τοπικό ανάγλυφο, τις τεκτονικές κινήσεις και το κλίμα σχηματίζοντας τοπικές υποχωρήσεις και προελάσεις αναλόγως με το αν η περιοχή ήταν εκτεθειμένη η προστατευμένη.
- Επομένως από την εξαγωγή της διαφοράς μεταξύ παλιάς και σημερινής ακτογραμμής, στην κάθε περιοχή είχαμε και προέλαση και οπισθοχώρηση της ακτογραμμής κατά θέσεις που ήταν και το ισχυρότερο φαινόμενο.

Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα του περιβάλλοντος εργασίας κατά την ψηφιοποίηση των δύο ακτογραμμών.



Σχήμα 3.4 Παράδειγμα απόσπασης ακτογραμμής 1945 και 2009 στην παραλία του Costa Navarino (μέρος της παραλίας «Navarino Dunes»)

Προκειμένου όμως να υπολογιστεί η μεταβολή στο ύψος, αρχικά εκτιμήθηκε η μέση μεταβολή της ακτογραμμής για κάθε περιοχή. Η - σε οριζόντια απόσταση - μεταβολή μετατράπηκε σε κατακόρυφη απόσταση (για την εκτίμηση της τελικής στάθμης θάλασσας σε κάθε σενάριο), θεωρώντας μέση κλίση επιφάνειας ίση 2° , σύμφωνα με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Από την τιμή της Α.Σ.Θ. του κάθε τομέα για το διάστημα των 64 ετών προκύπτει και ο μέσος ρυθμός ανόδου της στάθμης σε mm/έτος. Συνοπτικά τα εν λόγω αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.4 Πίνακας ρυθμών που προέκυψαν από ψηφιοποίηση σε αύξουσα σειρά

A/A	Περιοχή:	Ρυθμός Ανόδου mm/έτος
1	παραλία «Navarino Dunes»	4,48
2	παραλία Βοϊδοκοιλιάς	6,88
3	παραλία Καλαμάτας	8,56

Οι τιμές Α.Σ.Θ. που χρησιμοποιήθηκαν στα σενάρια της εργασίας ήταν εκείνες που θα έχουν προκύψει κατά το 2050 και το 2100, είτε αυτές προέρχονται από τα τέσσερα βασικά σενάρια εφαρμογής. Έτος βάσης για τον υπολογισμό όλων των τιμών των σεναρίων, ήταν το 2009 για να υπάρχει ίδια χρονική βάση με τους ορθοφωτοχάρτες του Κτηματολογίου από όπου δημιουργήθηκε και το σενάριο ψηφιοποίησης του κάθε τομέα. Όλες οι τιμές για τις οποίες δημιουργήθηκε σενάριο σε κάθε τομέα παρουσιάζονται αμέσως παρακάτω (Πίνακας 3.5).

Πίνακας 3.5 Εφαρμοσμένα σενάρια σε όλες τις περιοχές μελέτης - παραλίες σε αύξουσα σειρά

A/A:	Πηγή:	Χαρακτήρας:	Α.Σ.Θ. κατά το 2050 (m):	Α.Σ.Θ. κατά το 2100 (m):
1	Bonaduce 2016	Κατώτατο	0,087	0,194
2	E.E.A. 2016	Κατώτατο	0,123	0,273
3	Bonaduce 2016	Ανώτατο	0,159	0,352
4	E.E.A. 2016	Ανώτατο	0,164	0,364
5	R.C.P.8,5_IPCC 2013	Κατώτατο	0,19	0,53
6	R.C.P.8,5_IPCC 2013	Μέσο	0,25	0,74
7	R.C.P.8,5_IPCC 2013	Ανώτατο	0,32	0,98

Οι τιμές των σεναρίων που προέκυψαν από την τάση της τοπικής ακτογραμμής, και είναι διαφορετικές σε κάθε περιοχή, παρουσιάζονται αμέσως μετά (Πίνακας 3.6).

Πίνακας 3.6 Πίνακας σεναρίων/ περιοχή εξειδίκευσης προκύπτοντα από την ψηφιοποίηση σε αύξουσα σειρά

Περιοχή:	Α.Σ.Θ. κατά το 2050 (m):	Α.Σ.Θ. κατά το 2100 (m):
παραλία «Navarino Dunes»	0,184	0,408
παραλία Βοϊδοκοιλιάς	0,282	0,626
παραλία Καλαμάτας	0,351	0,778

Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτουν τρία βασικά συμπεράσματα:

- Πρώτον, η ψηφιοποίηση που έγινε ανέδειξε ως πιο τρωτή την Ανατολική πλευρά της Μεσσηνίας σε σχέση με την Δυτική καθώς οι ρυθμοί της Α.Σ.Θ. ανέδειξαν ως πιο ευάλωτη την παραλία της Καλαμάτας, δεύτερη την παραλία της Βοϊδοκοιλιάς και τρίτη την παραλία «Navarino Dunes». Το γεγονός αυτό συνδέεται μερικώς με την απώλεια ακτογραμμής και παραλίας αλλά όχι απόλυτα διότι ρόλο σε αυτήν διαδραματίζουν και οι κλίσεις. Παρόλα αυτά όπως θα παρουσιαστεί και στην συνέχεια στην προκύπτουσα περίπτωση η σειρά ευαλωτότητας στην Α.Σ.Θ. είναι όντως αύξουσα από Δυτικά προς τα Ανατολικά.
- Δεύτερον, πως οι τιμές ανόδου από την ψηφιοποίηση της ακτογραμμής είναι σχετικά υψηλές καθώς και οι έξι τους (3+3, για το 1945 και 2009, αντίστοιχα) καταλαμβάνουν τόσο για το 2050 και για το 2100 πάνω από την 4^η θέση σε αύξουσα σειρά μαζί με τις υπόλοιπες.
- Τρίτον, τα τέσσερα κατώτερα σενάρια ανόδου παρατίθενται σε αύξουσα σειρά, ως εξής: (α) για το 2050: 0,087 m (Bonaduce 2016), 0,123 (E.E.A. 2016), 0,159 m (Bonaduce 2016) και 0,164 (E.E.A. 2016) και (β) για το 2100: 0,194 m (Bonaduce 2016), 0,273 m (E.E.A. 2016), 0,352 m (Bonaduce 2016) και 0,364 m (E.E.A. 2016) για το 2100.

Ακόμη στην βάση της βιβλιογραφικής επισκόπησης και των παρατηρήσεων που εξήχθησαν γίνεται μια διαλογή των σεναρίων που είναι πιο πιθανοφανή από τα υπόλοιπα. Τα σενάρια αυτά είναι των 0,123 και 0,273 m ανόδου της στάθμης για το 2050 και 2100 αντίστοιχα, όπως και των 0,164 και 0,364 m για το 2050 και 2100 αντίστοιχα καθώς έχουν προκύψει από έρευνα που ενσωμάτωνε την περιοχή Ν. Ιονίου και τον Μεσσηνιακό κόλπο και τιμές Α.Σ.Θ. που δεν αποτελούν παγκόσμιες τιμές όπως εκείνες της IPCC 2013 (Ε.Ε.Α. 2016). Ακόμη στα πιθανοφανή ανήκει και το σενάριο ανόδου 0,159 m και 0,364 m για το 2050 και το 2100 αντίστοιχα διότι έχει προκύψει από μετρήσεις σταθμηγράφου στην παραλία της Καλαμάτας και όχι από δορυφορικές μετρήσεις όπως οι κατώτατες τιμές του (Bonaduce 2016). Τέλος στα πλέον πιστευτά πρέπει να συμπεριληφθεί αυτό που ανέδειξε η ψηφιοποίηση στον κάθε τομέα επειδή, όπως προαναφέρθηκε, είναι το μόνο που λογίζει την τοπική ιδιομορφία σε αντίθεσή με όλα τα υπόλοιπα σενάρια που είναι περιφεριακότερης κλίμακας (Πίνακας 3.7).

Πίνακας 3.7 Πιθανά σενάρια Α.Σ.Θ. για την περιοχή

A/A	Σενάριο Α.Σ.Θ. (m) για το 2050	Σενάριο Α.Σ.Θ. (m) για το 2100
1	Ε.Ε.Α. 2016 (κατώτατο) 0,123	Ε.Ε.Α. 2016 (κατώτατο) 0,273
2	Bonaduce (ανώτατο) 0,159	Bonaduce (ανώτατο) 0,352
3	Ε.Ε.Α. 2016 (ανώτατο) 0,164	Ε.Ε.Α. 2016 (ανώτατο) 0,364
4	Σενάριο Ψηφιοποίησης εκάστοτε Τομέα	

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Παραλία «Navarino Dunes»

Σε ότι αφορά την παραλία «Navarino Dunes» για τα οκτώ σενάρια Α.Σ.Θ. του 2050 που εφαρμόστηκαν στα 133.491 m² της συνολικής έκτασής της, η μικρότερη τιμή ανόδου ήταν εκείνη των 0,087 m (Bonaduce et al. 2016) η οποία οδηγεί σε απώλεια 26.335 m² δηλαδή του 19,73% της παραλίας. Ακολουθούν κατά αύξουσα σειρά η τιμή ανόδου: των 0,123 m (E.E.A. 2016) που οδηγεί σε απώλεια 27.796 m² δηλαδή του 20,82%, των 0,159 m (Bonaduce et al. 2016) σε απώλεια 29.033 m² του 21,75%, των 0,164 m (E.E.A. 2016) σε απώλεια 29.207 m² του 21,88%. Η τιμή που προέκυψε από την ψηφιοποίηση για την παραλία «Navarino Dunes» είναι η τέταρτη δυσμενέστερη για το 2050 με 0,184 m και προκαλεί απώλεια 30.201 m² δηλαδή 22,62%. Το τρίτο δυσμενέστερο σενάριο είναι των 0,19 m (IPCC 2013) που προκαλεί απώλεια 30.297 m² (22,7%). Το δεύτερο είναι των 0,25 m (IPCC 2013) με απώλεια 32.607 m² που αποτελεί το 24,43% της παραλίας. Το δυσμενέστερο όλων σενάρια για το 2050 και τη συγκεκριμένη περιοχή είναι της ανόδου των 0,32 m (IPCC 2013) που εάν υλοποιηθεί θα προκαλέσει απώλεια 35.177 m² δηλαδή του 26,35% (Πίνακας 4.1).

Για το 2100 η μικρότερη τιμή ανόδου ήταν εκείνη των 0,194 m (Bonaduce et al. 2016) η οποία οδηγεί σε απώλεια 30.372 m² δηλαδή του 22,75% της παραλίας. Ακολουθούν κατά αύξουσα σειρά η τιμή ανόδου: των 0,273 m (E.E.A. 2016) που οδηγεί σε απώλεια 33.583 m² που αποτελεί το 25,16% της παραλίας, των 0,352 m (Bonaduce et al. 2016) σε απώλεια 36.215 m² δηλαδή του 27,13%, των 0,364 m (E.E.A. 2016) σε απώλεια 36.797 m² του 27,57%. Η τιμή που προέκυψε από την ψηφιοποίηση για την παραλία «Navarino Dunes» είναι επίσης η τέταρτη δυσμενέστερη για το 2100 με 0,408 m και προκαλεί απώλεια 38.152 m² δηλαδή 28,58%. Το τρίτο δυσμενέστερο σενάριο είναι των 0,53 m που προκαλεί απώλεια 43.553 m² του 32,63%. Το δεύτερο είναι των 0,74 m με απώλεια 51.138 m² που αποτελεί το 38,31% της παραλίας. Το δυσμενέστερο σενάριο για το 2100 και τον συγκεκριμένο τομέα είναι της ανόδου των 0,98 m που εάν υλοποιηθεί θα προκαλέσει απώλεια 59.029 m² δηλαδή του 44,22% (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1 Απώλεια Ακτογραμμής (m²) παραλίας «Navarino Dunes»/ Σενάριο Α.Σ.Θ.

<u>Κατάταξη</u>	<u>Σενάριο Α.Σ.Θ. 2050(m)</u>	<u>Απώλεια Παραλίας κατά το 2050 (m²)</u>	<u>% Απώλεια Παραλίας κατά το 2050</u>	<u>Σενάριο Α.Σ.Θ. 2100 (m)</u>	<u>Απώλεια Παραλίας κατά το 2100 (m²)</u>	<u>% Απώλεια Παραλίας κατά το 2100</u>
1ο	Bonaduce (κατώτατο) 0,087	26.335	19,73	Bonaduce (κατώτατο) 0,194	30.372	22,75
2ο	E.E.A. (κατώτατο) 0,123	27.796	20,82	E.E.A. (κατώτατο) 0,273	33.583	25,16
3ο	Bonaduce (ανώτατο) 0,159	29.033	21,75	Bonaduce (ανώτατο) 0,352	36.215	27,13
4ο	E.E.A. (ανώτατο) 0,164	29.207	21,88	E.E.A. (ανώτατο) 0,364	36.797	27,57
5ο	Ψηφιοποιημένο 0,184	30.201	22,62	Ψηφιοποιημένο 0,408	38.152	28,58
6ο	R.C.P._8,5 (κατώτατο) 0,19	30.297	22,70	R.C.P._8,5 (κατώτατο) 0,53	43.553	32,63
7ο	R.C.P._8,5 (μέσο) 0,25	32.607	24,43	R.C.P._8,5 (μέσο) 0,74	51.138	38,31
8ο	R.C.P._8,5 (ανώτατο) 0,32	35.177	26,35	R.C.P._8,5 (ανώτατο) 0,98	59.029	44,22

Ανάλυση αποτελεσμάτων παραλίας «Navarino Dunes»

Η παραλία «Navarino Dunes» φαίνεται να υπόκειται σε σημαντικές απώλειες αναφορικά με την έκταση της παραλίας στο μέλλον. Κατά το έτος 2050 και σύμφωνα με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε θα έχουν καλυφθεί από θάλασσα περί τα 26.355 - 35.177 m² τα οποία αποτελούν το 19,73 - 26,35% της παραλίας. Κατά το 2100 η κατάσταση θα έχει οξυνθεί περαιτέρω καθώς εκτιμάται ότι θα καλυφθεί από θάλασσα ανάμεσα στο 22,75% και το 44,22% της σημερινής έκτασής της.

Τα τέσσερα πιθανότερα σενάρια

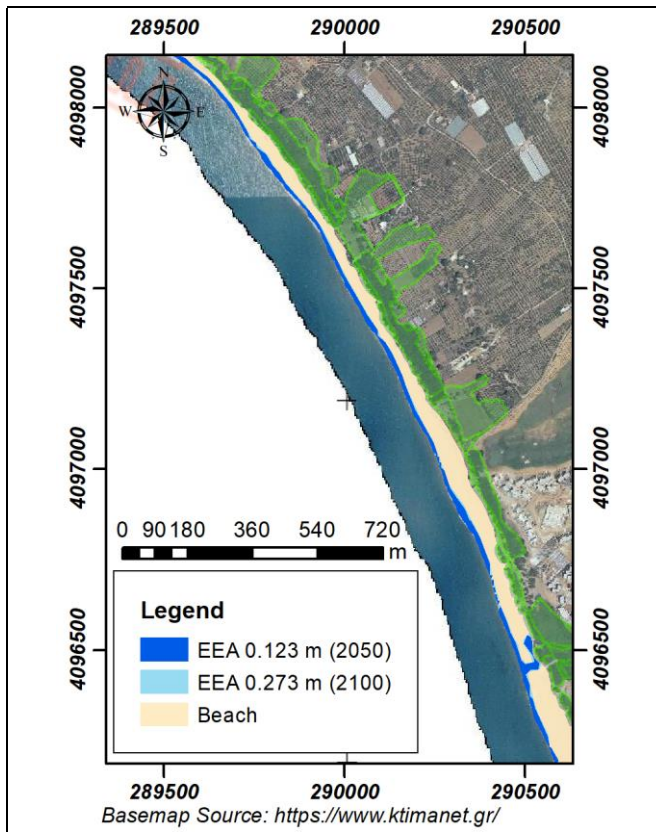
Κατά τα τέσσερα πιθανότερα σενάρια και τις μέσες τιμές που αυτά συνθέτουν η ανάλυση για την παραλία «Navarino Dunes» έχει ως εξής: τα σενάρια αυτά το συνηγορούν πως έως το 2050 ο ρυθμός της Α.Σ.Θ. στον τομέα θα είναι της τάξης των 3,84 mm/ έτος και θα οδηγήσει σε άνοδο της στάθμης κατά 0,16 m η οποία θα απωλέσει 29.059 m² ή το 21,77% της παραλίας «Navarino Dunes». Με βάση την παραδοχή των παραπάνω τιμών η παραλία θα χάνει κάθε χρόνο περίπου 710 m² έως το 2050 δηλαδή το 0,53% της έκτασής της ενώ η μέση ετήσια απώλεια ανά m² είναι 53 cm² (Πίνακας 4.2). Για το 2100 ο ρυθμός Α.Σ.Θ. στον τομέα που παραμένει σταθερός (3,84 mm/ έτος) θα οδηγήσει σε άνοδο της στάθμης κατά 0,35 m η οποία θα απωλέσει 36.187 m² ή το 27,11% της παραλίας «Navarino Dunes». Με βάση την παραδοχή των παραπάνω τιμών η παραλία θα χάνει κάθε χρόνο 397,7 m² έως το 2100 δηλαδή το 0,3% της έκτασής του ενώ η μέση ετήσια απώλεια/ m² είναι 30 cm² (Πίνακας 4.3). Στα Σχήματα 4.1 - 4.4 παρουσιάζονται επί χάρτου οι συγκεκριμένες αναλύσεις.

Πίνακας 4.2 Τέσσερα πιθανότερα σενάρια 2050 παραλίας «Navarino Dunes» και Μέσου Όρου τους σε διαφορετικά κριτήρια

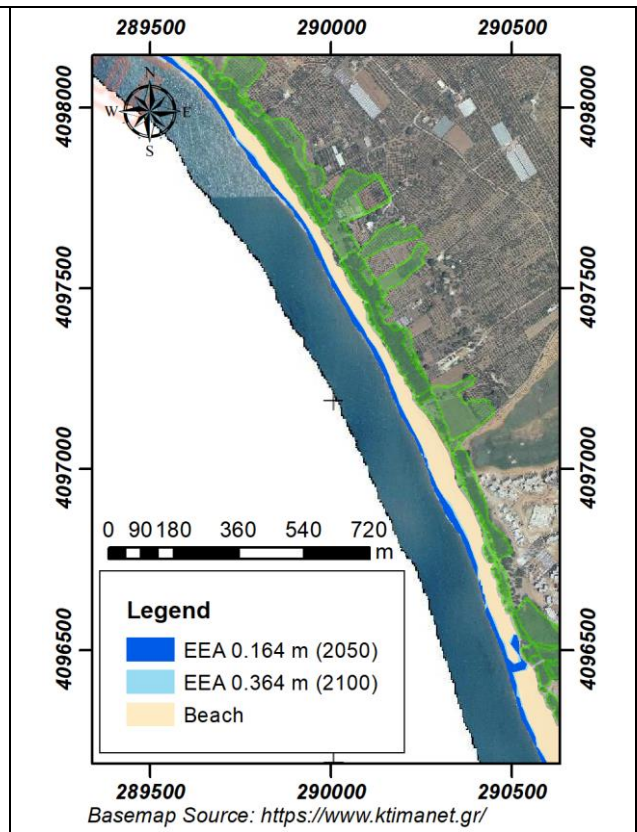
<u>Σενάριο</u> <u>Ανόδου m</u> <u>2050</u>	<u>Απώλεια</u> <u>κατά το</u> <u>2050 (m²)</u>	<u>%</u> <u>Απώλεια</u> <u>Παραλίας</u> <u>κατά το</u> <u>2050</u>	<u>Ρυθμός</u> <u>Α.Σ.Θ/</u> <u>Σενάριο</u> <u>ως το</u> <u>2050</u> <u>(mm/</u> <u>έτος)</u>	<u>Ρυθμός</u> <u>διάβρωσης (m²/</u> <u>έτος)/Σενάριο ως</u> <u>το 2050</u>	<u>% Ετήσια</u> <u>Απώλειας</u> <u>Παραλίας</u> <u>«Navarino</u> <u>Dunes» /</u> <u>Σενάριο</u> <u>για το 2050</u>	<u>Μέση</u> <u>ετήσια</u> <u>απώλεια/m²</u> <u>(cm²)</u>
Ε.Ε.Α. (κατώτατο) 0,123	27.796	20,82	3,00	678,0	0,51	51
Bonaduce (ανώτατο) 0,159	29.033	21,75	3,88	708,1	0,53	53
Ε.Ε.Α. (ανώτατο) 0,164	29.207	21,88	4,00	712,4	0,53	53
Ψηφιοποίησης 0,184	30.201	22,62	4,49	736,6	0,55	55
Μέσος Όρος: 0,16	29.059	21,77	3,84	708,8	0,53	53

Πίνακας 4.3 Τέσσερα πιθανότερα σενάρια 2100 της Παραλίας «Navarino Dunes» και Μέσου Όρου τους σε διαφορετικά κριτήρια

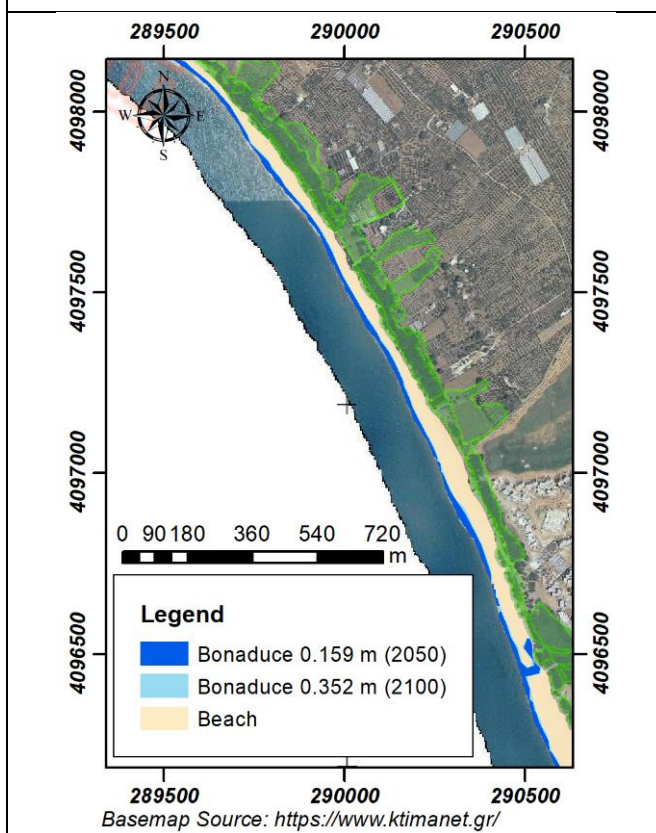
<u>Σενάριο</u> <u>Ανόδου m</u> <u>2100</u>	<u>Απώλεια</u> <u>κατά το</u> <u>2100 (m²)</u>	<u>%</u> <u>Απώλεια</u> <u>Παραλίας</u> <u>κατά το</u> <u>2100</u>	<u>Ρυθμός</u> <u>Α.Σ.Θ/</u> <u>Σενάριο</u> <u>ως το</u> <u>2100</u> <u>(mm/</u> <u>έτος)</u>	<u>Ρυθμός</u> <u>διάβρωσης (m²/</u> <u>έτος)/Σενάριο ως</u> <u>το 2100</u>	<u>% Ετήσια</u> <u>Απώλειας</u> <u>Παραλίας</u> <u>«Navarino</u> <u>Dunes» /</u> <u>Σενάριο για</u> <u>το 2100</u>	<u>Μέση</u> <u>ετήσια</u> <u>απώλεια/m²</u> <u>(cm²)</u>
Ε.Ε.Α. (κατώτατο) 0,123	33.583	25,16	3,00	369	0,28	28
Bonaduce (ανώτατο) 0,159	36.215	27,13	3,87	398	0,30	30
Ε.Ε.Α. (ανώτατο) 0,164	36.797	27,57	4,00	404,4	0,30	30
Ψηφιοποίησης 0,408	38.152	28,58	4,48	419,3	0,31	31
Μέσος Όρος: 0,35	36.187	27,11	3,84	397,7	0,30	30



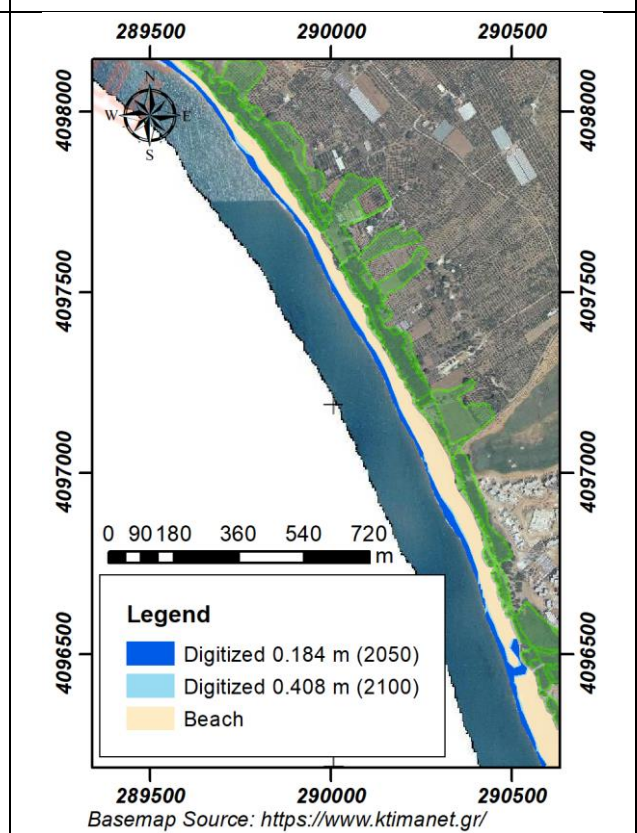
Σχήμα4.1 Ευμενέστερο σενάριο Α.Σ.Θ. κατά τα έτη 2050 και 2100 με βάση τον Ε.Ε.Α. (2016) για την παραλία «Navarino Dunes»



Σχήμα4.2 Δυσμενέστερο σενάριο Α.Σ.Θ. κατά τα έτη 2050 και 2100 με βάση τον Ε.Ε.Α. (2016) για την παραλία «Navarino Dunes»



Σχήμα4.3 Σενάριο Α.Σ.Θ. κατά τα έτη 2050 και 2100 με βάση τους Bonaduce et al. (2016) για την παραλία «Navarino Dunes»



Σχήμα4.4 Σενάριο Α.Σ.Θ. κατά τα έτη 2050 και 2100 με βάση την ψηφιοποίηση για την παραλία «Navarino Dunes»

4.2 Παραλία Βοϊδοκοιλιάς

Σε ότι αφορά τη μικρότερη σε έκταση από τις τρεις παραλίες μελέτης, την παραλία της Βοϊδοκοιλιάς, και για τα οκτώ σενάρια ανόδου της στάθμης που εφαρμόστηκαν για το 2050 στην έκταση των 21.120 m² η κατάταξη των σεναρίων σε αύξουσα σειρά έχει ως εξής:

- Το κατώτατο ή πιο ευνοϊκό σενάριο Α.Σ.Θ. είναι εκείνο των 0,087 m (Bonaduce et al. 2016) το οποίο οδηγεί σε απώλεια 5.721 m² δηλαδή το 27,09% όλης της παραλίας.
- Ακολουθούν: το σενάριο των 0,123 m (E.E.A. 2016) με απώλεια 5.889 m² που είναι το 27,87% της παραλίας, το σενάριο των 0,159 m (Bonaduce et al. 2016) που θα οδηγήσει την παραλία σε απώλεια 5.955 m² που είναι 28,28%, των 0,164 m (E.E.A. 2016) με απώλεια των 5.973 m² που είναι το 28,28%, 0,19 m (IPCC 2013) με απώλεια 6.017 m² το 28,49%, των 0,25 m (IPCC 2013) με απώλεια 6.186 m² δηλαδή το 29,29%.
- Το σενάριο ψηφιοποίησης για άνοδο 0,282 m το 2050 είναι το δεύτερο μεγαλύτερο για τον τομέα και οδηγεί σε απώλεια 6.288 m² ή του 29,77% της παραλίας της Βοϊδοκοιλιάς. Τέλος το σενάριο με την μεγαλύτερη τιμή ανόδου είναι εκείνο των 0,32 m και οδηγεί στην απώλεια 6.369 m² δηλαδή το 30,16% του τομέα (Πίνακας 4.4).

Για το 2100 η αύξουσα σειρά των σεναρίων που εφαρμόστηκαν έχει ως εξής:

- ευνοϊκότερο σενάριο εκείνο των 0,194 m (Bonaduce et al. 2016) με απώλειες για την παραλία 6.028 m² που αντιστοιχούν στο 28,54% της.
- Ακολουθούν: το σενάριο ανόδου της στάθμης κατά 0,273 m (E.E.A. 2016) και απώλειες 6.231 m² δηλαδή το 29,5%, το σενάριο ανόδου 0,352 m (Bonaduce et al. 2016) με απώλειες 6.448 m² το 30,53%, των 0,364 m (E.E.A. 2016) με απώλειες 6.454 m² το οποίο αντιστοιχεί στο 30,56%, των 0,53 m (IPCC 2013) με απώλειες 6.806 m² που αντιστοιχεί στο 32,22%.
- Το σενάριο της ψηφιοποίησης με τιμή 0,626 m για τη συγκεκριμένη περιοχή και για το 2100 είναι το τρίτο δυσμενέστερο και θα προκαλέσει απώλειες στην παραλία της Βοϊδοκοιλιάς 7.045 m² που θα αντιστοιχούν στο 33,35%.
- Το δεύτερο δυσμενέστερο είναι των 0,74 m (IPCC 2013) με απώλειες 7.386 m² σε ποσοστό 34,97% και το δυσμενέστερο εκείνο των 0,98 m (IPCC 2013) με απώλειες 8.316 m² δηλαδή του 39,38 της παραλίας (Πίνακας 4.4).

Πίνακας 4.4 Απώλειας Ακτογραμμής (m^2 παραλίας Βοϊδοκοιλιάς / Σενάριο Α.Σ.Θ

Κατάταξη	Σενάριο Α.Σ.Θ. 2050 (m):	Απώλεια Παραλίας κατά το 2050 (m^2):	Ποσοστιαία % Απώλεια Παραλίας κατά το 2050	Σενάριο Α.Σ.Θ. 2100 (m):	Απώλεια Παραλίας κατά το 2100 (m^2):	Ποσοστιαία % Απώλεια Παραλίας κατά το 2100
1 ^ο	Bonaduce (κατώτατο) 0,087	5.721	27,09	Bonaduce (κατώτατο) 0,194	6.028	28,54
2 ^ο	E.E.A. 2016 (κατώτατο) 0,123	5.886	27,87	E.E.A. (κατώτατο) 0,273	6.231	29,50
3 ^ο	Bonaduce (ανώτατο) 0,159	5.955	28,19	Bonaduce (ανώτατο) 0,352	6.448	30,53
4 ^ο	E.E.A. 2016 (ανώτατο) 0,164	5.973	28,28	E.E.A. (ανώτατο) 0,364	6.454	30,56
5 ^ο	R.C.P._8,5 (κατώτατο) 0,19	6.017	28,49	R.C.P._8,5 (κατώτατο)0,53	6.806	32,22
6 ^ο	R.C.P._8,5 (μέσο) 0,25	6.186	29,29	Ψηφιοποίησης 0,626	7.045	33,35
7 ^ο	Ψηφιοποίησης 0,282	6.288	29,77	R.C.P._8,5 (μέσο) 0,74	7.386	34,97
8 ^ο	R.C.P._8,5 (ανώτατο) 0,32	6.369	30,16	R.C.P._8,5 (ανώτατο) 0,98	8.316	39,38

Ανάλυση Αποτελεσμάτων παραλίας Βοϊδοκοιλιάς

Συνοψίζοντας, η παραλία της Βοϊδοκοιλιάς θα υποστεί επίσης σημαντικές απώλειες στο μέλλον. Σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης, κατά το έτος 2050 σύμφωνα θα έχουν καλυφθεί από θάλασσα μεταξύ των 5.721 - 6.369 m^2 τα οποία αποτελούν το 27,09 - 30,16% της παραλίας. Κατά το 2100 η κατάσταση θα έχει οξυνθεί περαιτέρω καθώς θα έχουν καλυφθεί 6.028 - 8.316 m^2 δηλαδή το 28,54 - 39,38% της παραλίας.

Τα τέσσερα πιθανότερα σενάρια

Σε ότι αφορά την επικέντρωσή μας στα τέσσερα πιθανότερα σενάρια και τις μέσες τιμές που συνθέτουν εκείνα, η ανάλυση για την παραλία Βοϊδοκοιλιάς έχει ως εξής: τα σενάρια αυτά το συνηγορούν στο ότι έως το 2050 ο ρυθμός Α.Σ.Θ. στον τομέα θα είναι 4,44 mm/ έτος και θα οδηγήσει σε άνοδο της στάθμης κατά 0,18m η οποία θα απολέσει 6.025,42 m^2 ή το 28,53% της παραλίας της Βοϊδοκοιλιάς. Με βάση την παραδοχή των παραπάνω τιμών η παραλία θα χάνει κάθε χρόνο 146,96 m^2 έως το 2050 δηλαδή το 0,70% της έκτασής του ενώ η μέση ετήσια απώλεια/ m^2 είναι 70 cm^2 (Πίνακας 4.5).

Πίνακας 4.5 Τέσσερα πιθανότερα σενάρια 2050 Παραλίας Βοϊδοκοιλιάς και Μέσου Όρου τους σε διαφορετικά κριτήρια

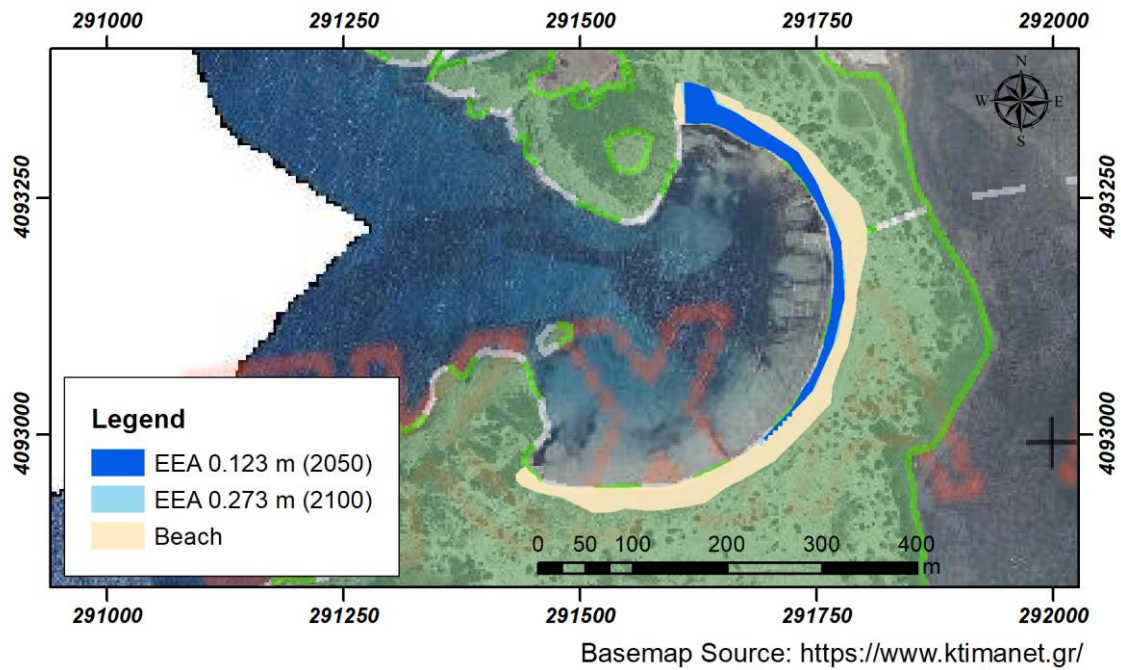
<u>Σενάριο</u> <u>Ανόδου (m)</u> <u>2050</u>	<u>Απώλεια</u> <u>κατά το</u> <u>2050</u> <u>(m²)</u>	<u>%</u> <u>Απώλεια</u> <u>Παραλίας</u> <u>κατά το</u> <u>2050</u>	<u>Ρυθμός</u> <u>Α.Σ.Θ/</u> <u>Σενάριο</u> <u>ως το</u> <u>2050</u> <u>(mm/</u> <u>έτος)</u>	<u>Ρυθμός</u> <u>διάβρωσης (m²/</u> <u>έτος)/ Σενάριο ως</u> <u>το 2050</u>	<u>% Ετήσια</u> <u>Απώλεια</u> <u>Παραλίας</u> <u>Βοϊδοκοιλιάς/</u> <u>Σενάριο για</u> <u>το 2050</u>	<u>Μέση</u> <u>ετήσια</u> <u>απώλεια/m²</u> <u>(cm²)</u>
E.E.A. (κατώτατο) 0,123	5.886	27,87	3,00	143,57	0,68	68
Bonaduce (ανώτατο) 0,159	5.955	28,19	3,88	145,24	0,69	69
E.E.A. (ανώτατο) 0,164	5.973	28,28	4,00	145,69	0,69	69
Ψηφιοποίησης 0,282	6.288	29,77	6,88	153,35	0,73	73
Μέσος Όρος: 0,18	6025,42	28,53	4,44	146,96	0,70	70

Για το 2100 ο Α.Σ.Θ. στον τομέα που παραμένει σταθερός (4,44 mm/ έτος) θα οδηγήσει σε άνοδο της στάθμης κατά 0,4m η οποία θα απωλέσει 6.544 m² ή το 30,99% της παραλίας της Βοϊδοκοιλιάς. Με βάση την παραδοχή των παραπάνω τιμών η παραλία θα χάνει κάθε χρόνο 71,92 m² έως το 2100 δηλαδή το 0,34% της έκτασής του ενώ η μέση ετήσια απώλεια/ m² είναι 34 cm²/ m² (Πίνακας 4.6).

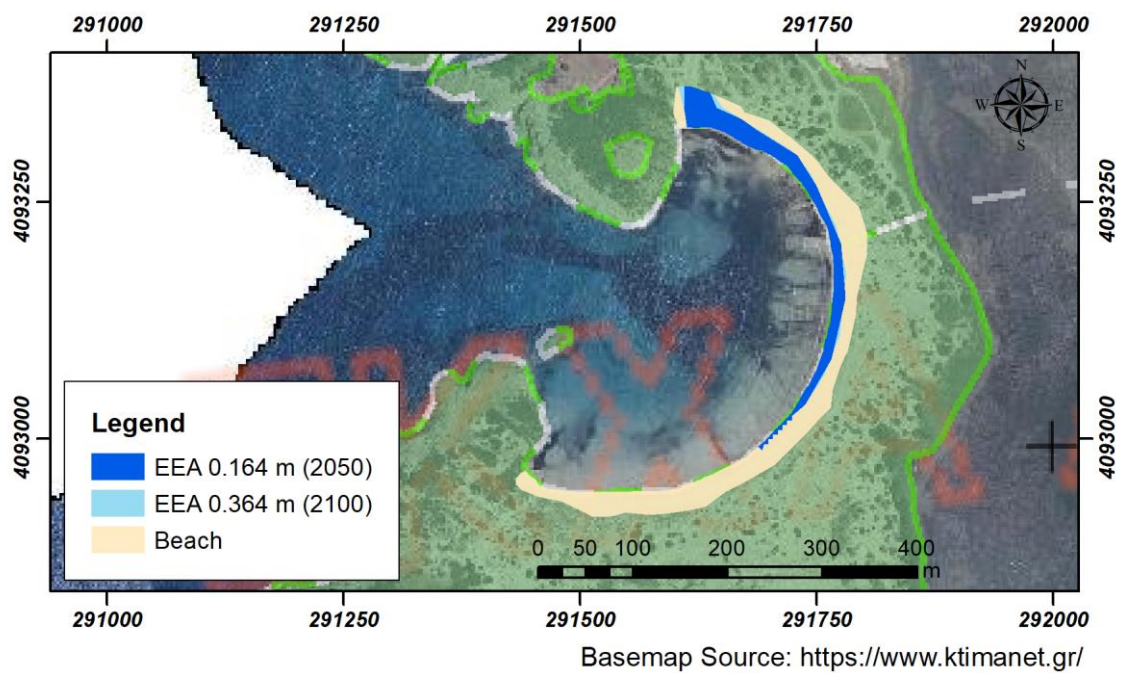
Πίνακας 4.6 Τέσσερα πιθανότερα σενάρια 2100 Παραλίας Βοϊδοκοιλιάς και Μέσου Όρου τους σε διαφορετικά κριτήρια

<u>Σενάριο</u> <u>Ανόδου (m)</u> <u>2100</u>	<u>Απώλεια</u> <u>κατά το</u> <u>2100</u> <u>(m²)</u>	<u>%</u> <u>Απώλεια</u> <u>Παραλίας</u> <u>κατά το</u> <u>2100</u>	<u>Ρυθμός</u> <u>Α.Σ.Θ/</u> <u>Σενάριο</u> <u>ως το</u> <u>2100</u> <u>(mm/</u> <u>έτος)</u>	<u>Ρυθμός</u> <u>διάβρωσης (m²/</u> <u>έτος)/Σενάριο ως</u> <u>το 2100</u>	<u>% Ετήσια</u> <u>Απώλεια</u> <u>Παραλίας</u> <u>Βοϊδοκοιλιάς/</u> <u>Σενάριο για</u> <u>το 2100</u>	<u>Μέση</u> <u>ετήσια</u> <u>απώλεια/m²</u> <u>(cm²)</u>
E.E.A. (κατώτατο) 0,123	6.231	29,50	3,00	68,47	0,32	32
Bonaduce (ανώτατο) 0,159	6.448	30,53	3,87	70,85	0,34	34
E.E.A. (ανώτατο) 0,164	6.454	30,56	4,00	70,92	0,34	34
Ψηφιοποίησης 0,626	7.045	33,35	6,88	77,41	0,37	37
Μέσος Όρος: 0,4	6.544	30,99	4,44	71,92	0,34	34

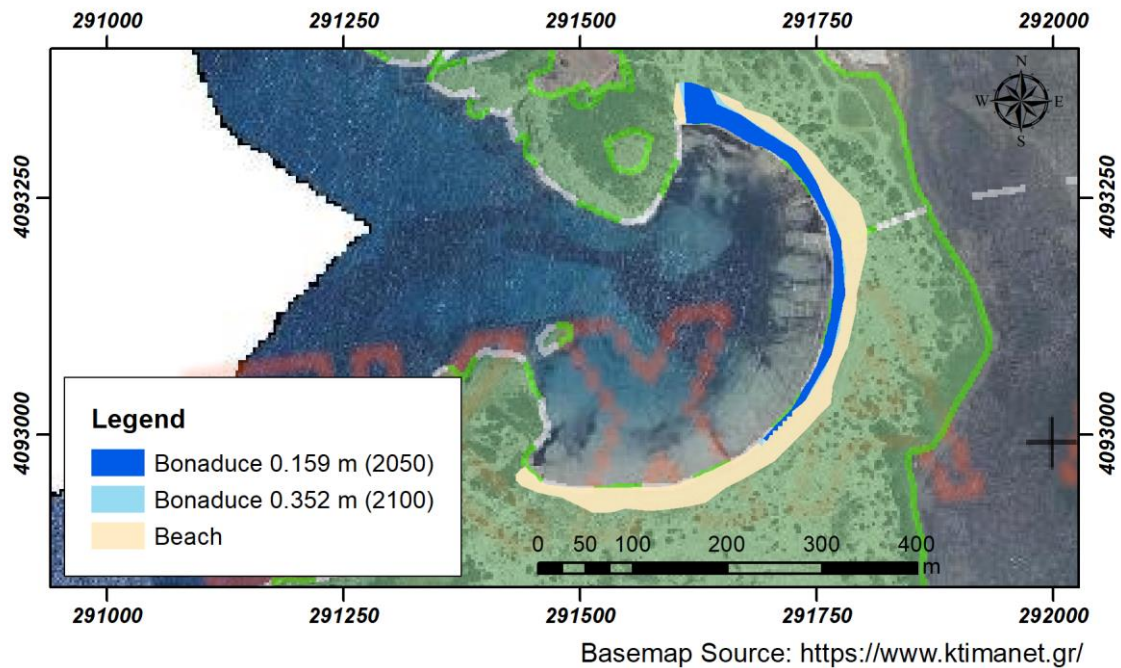
Στη συνέχεια παρουσιάζονται επί χάρτου τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των σεναρίων μελέτης στον κόλπο Βοϊδοκοιλιάς.



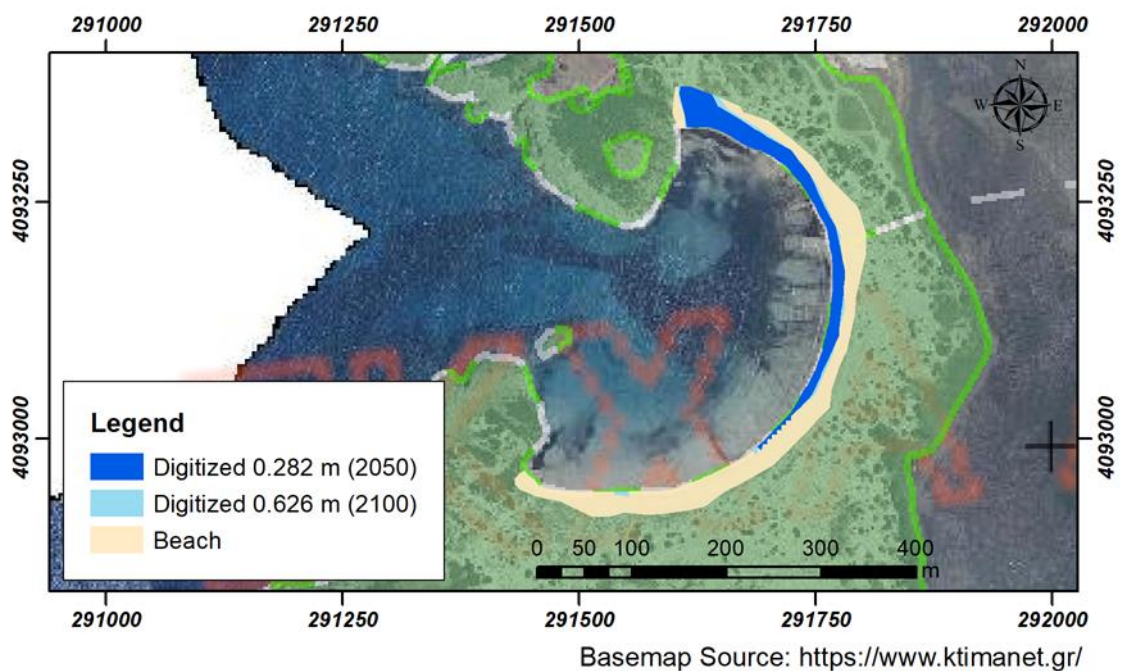
Σχήμα 4.5 Ευμενέστερο σενάριο Α.Σ.Θ. κατά τα έτη: 2050 και 2100 με βάση τον Ε.Ε.Α. (2016)



Σχήμα 4.6 Δυσμενέστερο σενάριο Α.Σ.Θ. κατά τα έτη: 2050 και 2100 με βάση τον Ε.Ε.Α. (2016)



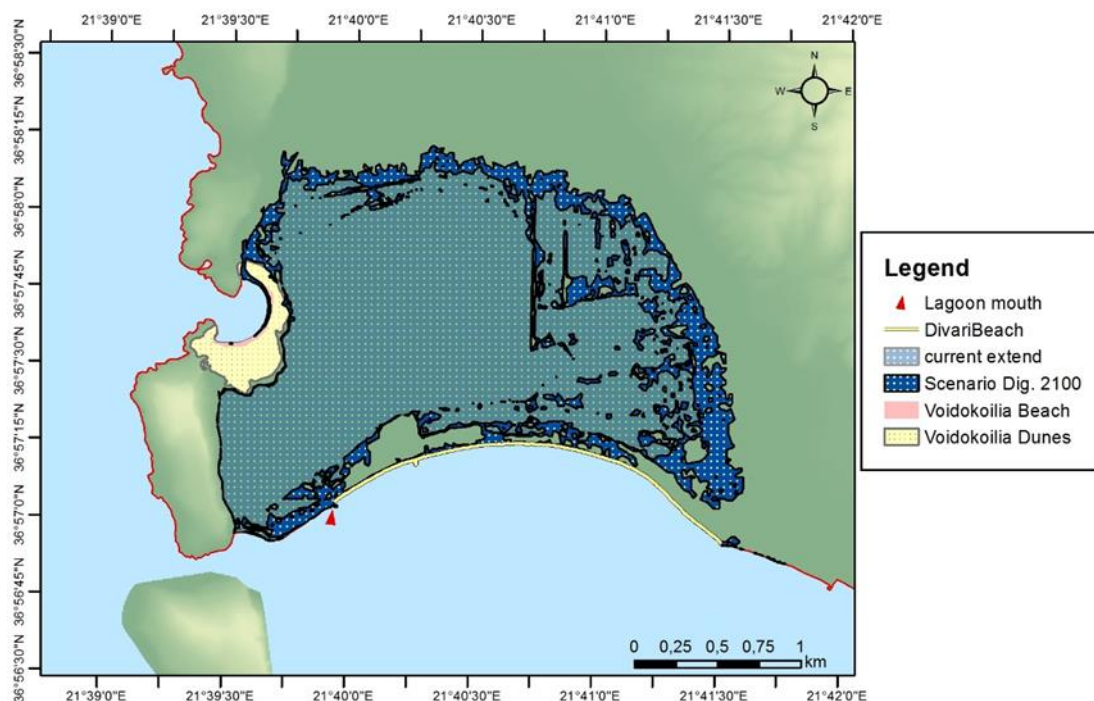
Σχήμα4.7 Σενάριο Α.Σ.Θ. κατά τα έτη: 2050 και 2100 με βάση τους Bonaduce et al. (2016)



Σχήμα4.8 Σενάριο Α.Σ.Θ. κατά τα έτη: 2050 και 2100 με βάση την ψηφιοποίηση της ιστορικής ακτογραμμής για την Βοϊδοκοιλιά

Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει κατανοητή η σύνδεση και η συνάφεια που έχει η παραλία της Βοϊδοκοιλιάς με την Λιμνοθάλασσα του Διβαρίου που βρίσκεται δίπλα της. Η Λιμνοθάλασσα Διβαρίου επικοινωνεί με την υπόλοιπη θάλασσα μέσω ενός διαύλου στο Ανατολικό σημείο της ακτής Διβαρίου και επηρεάζεται επίσης από την Α.Σ.Θ., αν και με βραδύτερο ρυθμό λόγω του κλειστού της χαρακτήρα. εξαιτίας των ήπιων κλίσεων που χαρακτηρίζουν την περιοχή, η Α.Σ.Θ. πάνω από ένα συγκεκριμένο ύψος - εν προκειμένω 0,5 m - θα υπερκαλύψει τον χερσαίο διαχωρισμό του και εκτός από εκτάσεις σε χρήση (πχ. τουριστική, γεωργική) που θα καταλάβει, θα συνεπάγεται την βιαιότερη

εισβολή θαλασσινού νερού στην Λιμνοθάλασσα. Καθώς τα υγροτοπικά οικοσυστήματα είναι δυναμικά έτσι και η Λιμνοθάλασσα έχει μηχανισμούς ανάδρασης και αυτοπροστασίας όπως είναι η μετακίνησή ή η ανύψωσή της. Παρόλα αυτά η Α.Σ.Θ. από ένα σημείο θα δοκιμάσει αδιαμφισβήτητα τα όριά της (Σχήμα 4.9).



Σχήμα 4.9 Επίδραση της Α.Σ.Θ. στην Λιμνοθάλασσα Διβαρίου κατά το σενάριο ψηφιοποίησης των 0,626 m για το 2100

Δευτερευόντως, δε θα πρέπει να παραληφθεί η αναφορά σε έμμεσες επιπτώσεις από την Α.Σ.Θ., όπως η περαιτέρω υποβάθμιση του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής.

4.3 Παραλία Καλαμάτας

Σε ότι αφορά την παραλία της Καλαμάτας για τα οκτώ σενάρια Α.Σ.Θ. του 2050 που εφαρμόστηκαν στα 68.610 m² της συνολικής έκτασής της, η μικρότερη τιμή ανόδου αντιστοιχεί, όπως αναμενόταν, στο σενάριο των 0,087 m (Bonaduce et al. 2016) η οποία οδηγεί σε απώλεια 20.700 m² δηλαδή του 30,17% της παραλίας. Ακολουθούν κατά αύξουσα σειρά: το σενάριο των 0,123 m (E.E.A. 2016) που οδηγεί σε απώλεια 21.546 m² δηλαδή του 31,4%, των 0,159 m (Bonaduce et al. 2016) σε απώλεια 21.971 m² του 32,02%, των 0,164 m (E.E.A. 2016) σε απώλεια 22.073 m² του 32,17%, των 0,19 m (IPCC 2013) σε απώλεια 22.351 m² του 32,58%, των 0,25 m (IPCC 2013) σε απώλεια 24.882 m² του 36,27%, των 0,32 m (IPCC 2013) σε απώλεια 27.399 m² δηλαδή του 39,93%. Τέλος η μεγαλύτερη τιμή σεναρίου για το 2050 στην παραλία της Καλαμάτας αποτελεί την τιμή που προέκυψε από την ψηφιοποίηση του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής και ανέρχεται σε 0,351 m οδηγώντας την παραλία σε απώλεια 28.556 m² δηλαδή του 41,62% της παραλίας της Καλαμάτας (Πίνακας 4.7).

Για το 2100 η μικρότερη τιμή ανόδου ήταν εκείνη των 0,194 m (Bonaduce et al. 2016) η οποία οδηγεί σε απώλεια 22.325 m² δηλαδή του 32,54% της παραλίας. Ακολουθούν κατά αύξουσα σειρά το σενάριο ανόδου: των 0,273 m (E.E.A. 2016) που οδηγεί σε απώλεια 25.807 m² που αποτελεί το 37,61% της παραλίας, των 0,352 m (Bonaduce et al. 2016) σε απώλεια 28.678 m² δηλαδή του 41,80%, των 0,364 m (E.E.A. 2016) σε απώλεια 28.960 m² του 42,21%, των 0,53 m (IPCC 2013) σε απώλεια 37.283 m² του 54,34% και των 0,74 m (IPCC 2013) σε απώλεια 46.636 m² που αντιστοιχεί στο 67,97%. Η τιμή ανόδου με βάση την ψηφιοποίηση των ακτογραμμών ανέρχεται στα 0,778 m προκαλώντας απώλεια 48.332 m² δηλαδή του 70,44% ενώ δεν είναι η ανώτατη τιμή όπως συνέβη για το 2050. Αντίθετα, η μεγαλύτερη καλυπτόμενη από θάλασσα επιφάνεια για το 2100 συνδέεται με το σενάριο των 0,98 m (IPCC 2013) οδηγώντας την παραλία Καλαμάτας σε απώλεια 59.970 m² που αντιστοιχεί στο 87,41% της σημερινής της έκτασης (Πίνακας 4.7).

Πίνακας 4.7 Απώλεια Ακτογραμμής (m²) παραλίας Καλαμάτας/ Σενάριο Α.Σ.Θ

Κατάταξη	Σενάριο Α.Σ.Θ. 2050(m):	Απώλεια Παραλίας κατά το 2050 (m²):	Ποσοστιαία % Απώλεια Παραλίας κατά το 2050	Σενάριο Α.Σ.Θ. 2100 (m):	Απώλεια Παραλίας κατά το 2100 (m²):	Ποσοστιαία % Απώλεια Παραλίας κατά το 2100
1 ^ο	Bonaduce (κατώτατο) 0,087	20.700	30,17	Bonaduce (κατώτατο) 0,194	22.325	32,54
2 ^ο	E.E.A. 2016 (κατώτατο) 0,123	21.546	31,40	E.E.A. 2016 (κατώτατο) 0,273	25.807	37,61
3 ^ο	Bonaduce (ανώτατο) 0,159	21.971	32,02	Bonaduce (ανώτατο) 0,352	28.678	41,80
4 ^ο	E.E.A. 2016 (ανώτατο) 0,164	22.073	32,17	E.E.A. 2016 (ανώτατο) 0,364	28.960	42,21
5 ^ο	R.C.P. _8,5 (κατώτατο) 0,19	22.351	32,58	R.C.P. _8,5 (κατώτατο) 0,53	37.283	54,34
6 ^ο	R.C.P. _8,5 (μέσο) 0,25	24.882	36,27	R.C.P. _8,5 (μέσο) 0,74	46.636	67,97
7 ^ο	R.C.P. _8,5 (ανώτατο) 0,32	27.399	39,93	Ψηφιοποίησης 0,778	48.332	70,44
8 ^ο	Ψηφιοποίησης 0,351	28.556	41,62	R.C.P. _8,5 (ανώτατο) 0,98	59.970	87,41

Σε ότι αφορά την ποσοστιαία απώλεια παραλίας από το κάθε σενάριο Α.Σ.Θ. για το 2050 και το 2100 εκείνη ακολουθεί την ίδια αύξουσα σειρά με αυτή των απόλυτων μεγεθών που παρουσιάστηκαν παραπάνω μιας και εκφράζει την σχέση μεταξύ παραλίας και κατάληψης της από την ανερχόμενη θαλάσσια επιφάνεια. Το εύρος της απώλειας της παραλίας για το 2050 και τα σενάρια που

εφαρμόστηκαν είναι 7.856 m² δηλαδή ένα 11,45% και κυμαίνεται από την απώλεια 20.700 m² δηλαδή του 30,17% για το κατώτερο σενάριο ανόδου 0,087 m (Bonaduce 2016) έως την απώλεια 28.556 m² δηλαδή του 41,62% για το ανώτατο σενάριο αυτό της ψηφιοποίησης με άνοδο στάθμης 0,351 m. Για το 2100 είναι 37.645 m² δηλαδή 54,87% κυμαίνεται από 22.325 m² δηλαδή του 32,54% για το κατώτερο σενάριο ανόδου 0,194 m (Bonaduce 2016) έως την απώλεια 59.970 m² δηλαδή του 87,41% για το ανώτατο αυτό των 0,98 m (IPCC 2013).

Ανάλυση αποτελεσμάτων παραλίας Καλαμάτας

Η παραλία της Καλαμάτας σύμφωνα με τα σενάρια μελέτης φαίνεται ότι θα υποστεί γενικά σημαντικές απώλειες στο μέλλον. Κατά το έτος 2050 για την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε θα έχουν καλυφθεί από θάλασσα 20.700 - 28.556 m² τα οποία αποτελούν αντίστοιχα το 30,17 - 41,62% της παραλίας. Κατά το 2100 η κατάσταση φαίνεται να οξύνεται περαιτέρω καθώς θα έχουν καλυφθεί 22.325 - 59.970 m² δηλαδή το 32,54 - 87,41% της σημερινής παραλίας.

Τα τέσσερα πιθανότερα σενάρια

Σε ό,τι αφορά τα τέσσερα πιθανότερα σενάρια για την παραλία Καλαμάτας, αυτά έχουν ως εξής: τα σενάρια αυτά το συνηγορούν πως έως το 2050 ο ρυθμός Α.Σ.Θ. στον τομέα θα είναι 4,86 mm/έτος και θα οδηγήσει σε άνοδο της στάθμης κατά 0,2 m η οποία θα απωλέσει 23.536 m² ή το 34,3% της παραλίας της Καλαμάτας. Με βάση την παραδοχή των παραπάνω τιμών η παραλία θα χάνει κάθε χρόνο 574,06 m² έως το 2050 δηλαδή το 0,84% της έκτασής του ενώ η μέση ετήσια απώλεια/ m² είναι 84 cm² (Πίνακας 4.8).

Πίνακας 4.8 Τέσσερα πιθανότερα σενάρια 2050 παραλίας Καλαμάτας και Μέσου Όρου τους σε διαφορετικά κριτήρια

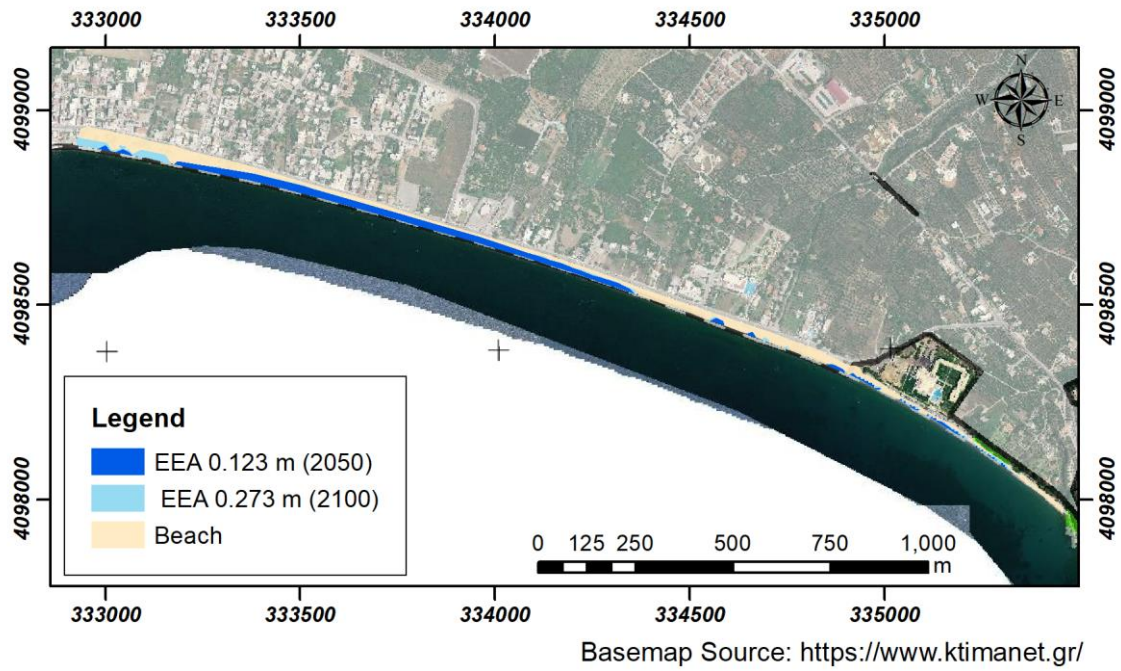
<u>Σενάριο Ανόδου (m) 2050</u>	<u>Απώλεια κατά το 2050 (m²)</u>	<u>% Απώλεια Παραλίας κατά το 2050</u>	<u>Ρυθμός Α.Σ.Θ/ Σενάριο ως το 2050 (mm/ έτος)</u>	<u>Ρυθμός διάβρωσης (m²/ έτος)/ Σενάριο ως το 2050</u>	<u>% Ετήσιας Απώλειας Παραλίας Καλαμάτας/ Σενάριο για το 2050</u>	<u>Μέση ετήσια απώλεια/m² (cm²)</u>
E.E.A. 2016 (κατώτατο) 0,123	21.546	31,40	3,00	525,52	0,77	77
Bonaduce (ανώτατο) 0,159	21.971	32,02	3,88	535,87	0,78	78
E.E.A. 2016 (ανώτατο) 0,164	22.073	32,17	4,00	538,37	0,78	78
Ψηφιοποίησης 0,351	28.556	41,62	8,56	696,48	1,02	102
Μέσος Όρος: 0,2	23.536	34,3	4,86	574,06	0,84	84

Για το 2100 ο ρυθμός Α.Σ.Θ. στον τομέα που παραμένει σταθερός (4,86 mm/ έτος) θα οδηγήσει σε άνοδο της στάθμης κατά 0,44 m η οποία θα απωλέσει 32.944 m² ή το 48,02% της παραλίας της Καλαμάτας. Με βάση την παραδοχή των παραπάνω τιμών η παραλία θα χάνει κάθε χρόνο 362,02 m² έως το 2100 δηλαδή το 0,53% της έκτασής του ενώ η μέση ετήσια απώλεια/ m² είναι 53 cm²/ m² (Πίνακας 4.9).

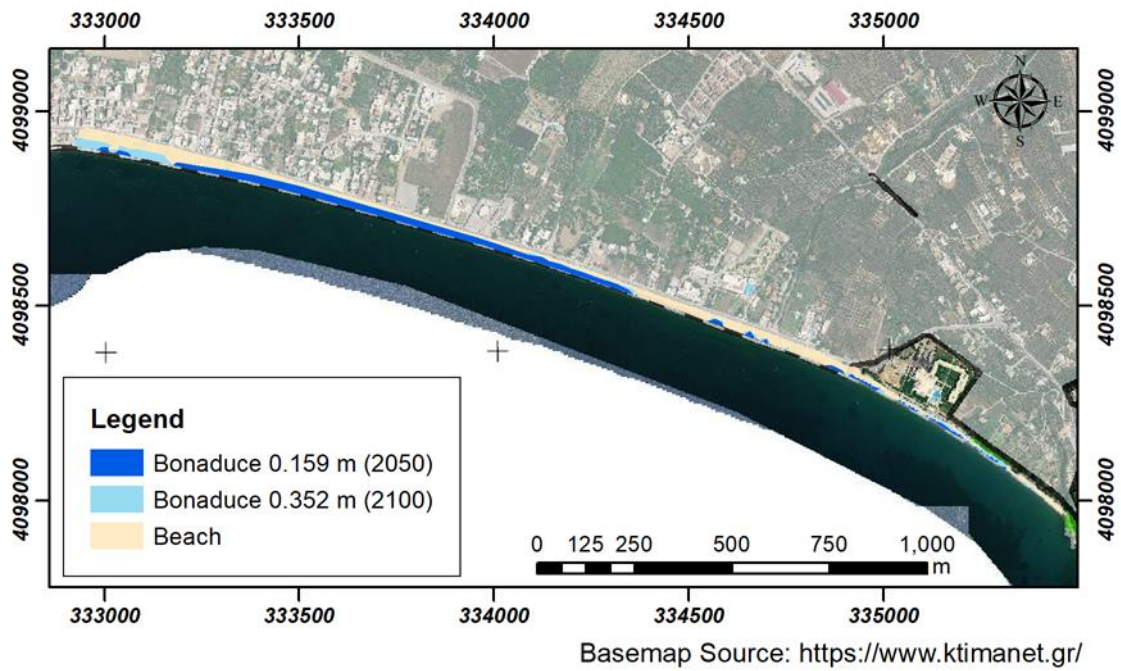
Πίνακας 4.9 Τέσσερα πιθανότερα σενάρια 2100 παραλίας Καλαμάτας και Μέσου Όρου τους σε διαφορετικά κριτήρια

<u>Σενάριο</u> <u>Ανόδου m</u> <u>2100</u>	<u>Απώλεια</u> <u>κατά το</u> <u>2100 (m²)</u>	<u>%</u> <u>Απώλεια</u> <u>Παραλίας</u> <u>κατά το</u> <u>2100</u>	<u>Ρυθμός</u> <u>Α.Σ.Θ/</u> <u>Σενάριο ως</u> <u>το 2100</u> <u>(mm/ έτος)</u>	<u>Ρυθμός</u> <u>διάβρωσης</u> <u>(m²/ έτος)/</u> <u>Σενάριο</u> <u>ως το 2100</u>	<u>% Ετήσιας</u> <u>Απώλειας</u> <u>Παραλίας</u> <u>Καλαμάτας/</u> <u>Σενάριο για το</u> <u>2100</u>	<u>Μέση</u> <u>ετήσια</u> <u>απώλεια/m²</u> <u>(cm²)</u>
Ε.Ε.Α. 2016 (κατώτατο) 0,273	25.807	37,61	3,00	283,59	0,41	41
Bonaduce (ανώτατο) 0,352	28.678	41,80	3,88	315,14	0,46	46
Ε.Ε.Α. 2016 (ανώτατο) 0,364	28.960	42,21	4,00	318,24	0,46	46
Ψηφιοποίησης 0,778	48.332	70,44	8,56	531,12	0,77	77
Μέσος Όρος: 0,44	32.944	48,02	4,86	362,02	0,53	53

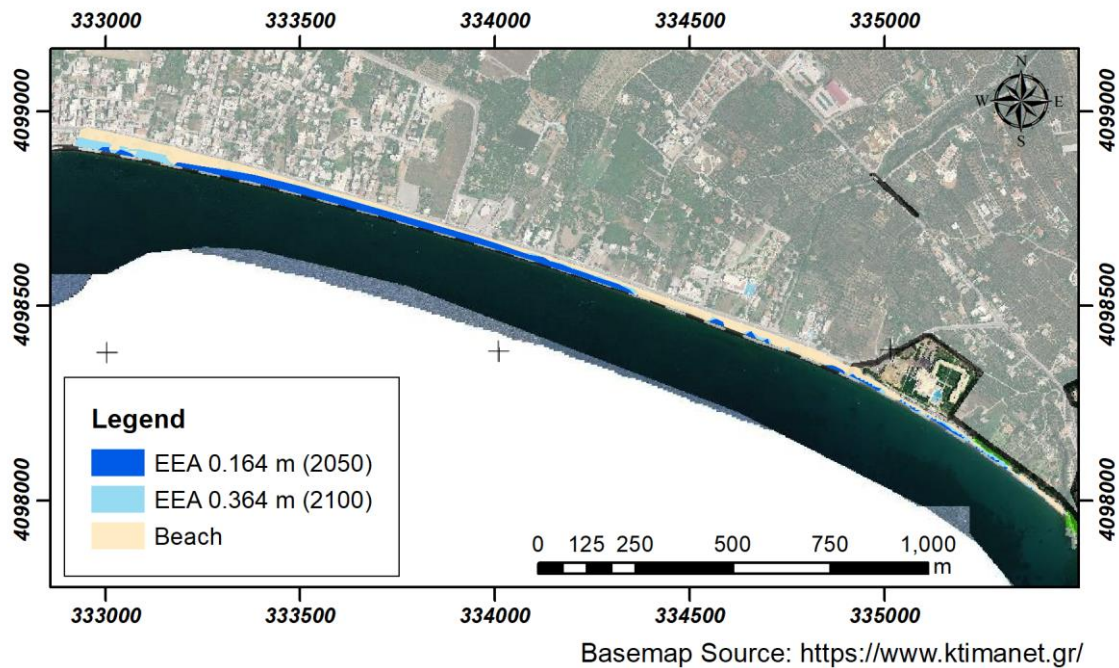
Στα Σχήματα 4.10 - 4.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των σεναρίων για το 2050 και 2100 στην παραλία Καλαμάτας.



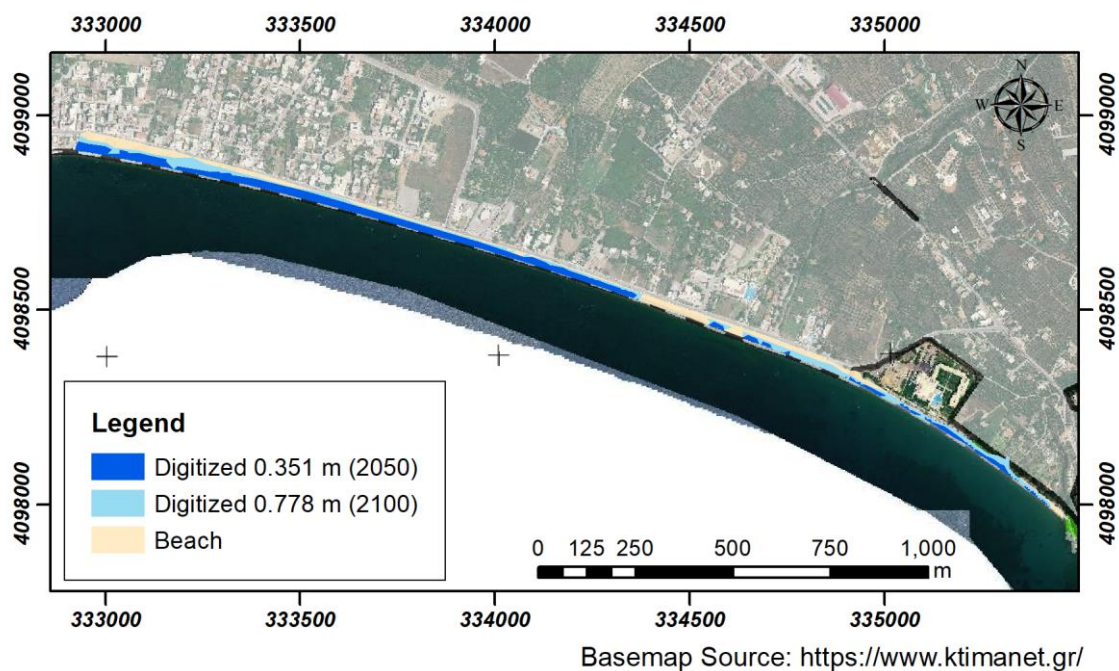
Σχήμα 4.10 Ευνοϊκότερο σενάριο Α.Σ.Θ. κατά τα έτη 2050 και 2100 κατά τον Ε.Ε.Α. (2016) για την παραλία Καλαμάτας



Σχήμα 4.11 Σενάριο Α.Σ.Θ. κατά τα έτη 2050 και 2100 κατά τον Ε.Ε.Α. (2016) για την παραλία Καλαμάτας



Σχήμα 4.12 Δυσμενέστερο σενάριο Α.Σ.Θ. κατά τα έτη 2050 και 2100 κατά τον Ε.Ε.Α. (2016) για την παραλία Καλαμάτας



Σχήμα 4.13 Σενάριο Α.Σ.Θ. κατά τα έτη 2050 και 2100 με βάση την ψηφιοποίηση της ιστορικής ακτογραμμής για την παραλία Καλαμάτας

4.4 Συζήτηση

Προχωρώντας σε μια σύνοψη των αποτελεσμάτων της εργασίας συγκρίθηκαν οι μέσες τιμές των τεσσάρων πιθανότερων σεναρίων που επιλέχθηκαν για τις τρεις περιοχές. Συγκεκριμένα:

Η μέση τιμή Α.Σ.Θ. που προκύπτει από τα τέσσερα πιο πιθανά σενάρια είναι ενδεικτική του ρόλου που διαδραμάτισε η εργασία της ψηφιοποίησης στο να αναδειχθεί η τοπικότητα των παραγόντων που επηρεάζουν την Α.Σ.Θ. Το παραπάνω σημαίνει πως η μέση τιμή αυτή έχει επηρεαστεί από την τιμή

που προέκυψε από την ψηφιοποίηση της ιστορική ακτογραμμής στον κάθε τομέα και όπως ειπώθηκε και παραπάνω είναι μεγαλύτερη από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά. Με αυτόν τον τρόπο αντί να υπάρχει η ίδια πιθανότερη τιμή για κάθε τομέα, εκείνη διαφοροποιείται προς τα πάνω ή τα κάτω ανάλογα με το αν η τιμή Α.Σ.Θ. από την ψηφιοποίηση ήταν μεγαλύτερη ή μικρότερη από τις άλλες στην κάθε περιοχή. Επομένως για το 2050 είναι λογικό η μέση αναμενόμενη Α.Σ.Θ. να είναι μεγαλύτερη στην παραλία της Καλαμάτας με 0,2 m, ενώ ακολουθεί η παραλία της Βοϊδοκοιλιάς με 0,18 m και η μικρότερη αναμενόμενη Α.Σ.Θ. για το 2050 συναντάται στην παραλία «Navarino Dunes» με 0,16 m (Πίνακας 4.10).

Η μέση αναμενόμενη Α.Σ.Θ. (m) από τα τέσσερα πιθανότερα σενάρια συνδέεται με την μέση ποσοστιαία απώλεια εδάφους του κάθε τομέα καθώς η μεγαλύτερη είναι εκείνη της παραλίας της Καλαμάτας με 34,3%, δεύτερη εκείνη της παραλίας της Βοϊδοκοιλιάς με 28,53% και η μικρότερη εκείνη της παραλίας «Navarino Dunes» με 21,77%. Όπως επίσης και ο μέσος ρυθμός Α.Σ.Θ. έως το 2050 είναι 4,86 mm/ έτος για την παραλία της Καλαμάτας, 4,44 mm/ έτος για την παραλία της Βοϊδοκοιλιάς και 3,84 mm/ έτος για την παραλία «Navarino Dunes» (Πίνακας 4.10).

Αντίθετα σε απόλυτα μεγέθη όπως είναι λογικό οι μεγαλύτερες απώλειες θα προκύψουν στην παραλία «Navarino Dunes» με 29.059 m² η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη εκ των άλλων. Ακολουθούν με 23.536 m² οι απώλειες που θα έχει η παραλία της Καλαμάτας και με 6.025 m² η παραλία της Βοϊδοκοιλιάς (Πίνακας 4.10).

Ο μέσος ετήσιος ρυθμός απώλειας έως το 2050 είναι περίπου 710 m²/ έτος στη παραλία «Navarino Dunes», ακολουθεί ως δεύτερη υψηλότερη η παραλία της Καλαμάτας με 575 m²/ έτος και τρίτη η παραλία της Βοϊδοκοιλιάς με 147 m²/ έτος (Πίνακας 4.10).

Η μέση ετήσια ποσοστιαία απώλεια ως το 2050 του κάθε τομέα έχει ως εξής: η μεγαλύτερη είναι εκείνη της παραλίας της Καλαμάτας με 0,84%/ έτος, δεύτερη εκείνη της παραλίας της Βοϊδοκοιλιάς με απώλεια 0,70%/ έτος και τελευταία εκείνη της παραλίας «Navarino Dunes» με 0,53%/ έτος (Πίνακας 4.10).

Τέλος η μέση ετήσια απώλεια του κάθε τομέα/ m² είναι μεγαλύτερη στην παραλία της Καλαμάτας με 84 cm²/ έτος, δεύτερη η παραλία της Βοϊδοκοιλιάς με 70 cm²/ έτος και την μικρότερη η παραλία της «Navarino Dunes» με 53 cm²/ έτος (Πίνακας 4.10).

Πίνακας 4.10 Συγκριτικός πίνακας Τομέων με βάση τον Μ.Ο. των τεσσάρων πιθανότερων σεναρίων κατά το 2050

<u>Περιοχή εξειδίκευσης</u>	<u>Σενάριο Μ.Ο. Ανόδου (m) 2050</u>	<u>Μέση Απώλεια κατά το 2050 (m²)</u>	<u>Μέση % Απώλεια Τομέα κατά το 2050</u>	<u>Μέσος Ρυθμός Α.Σ.Θ/ Τομέα ως το 2050 (mm/ έτος)</u>	<u>Μέσος Ρυθμός διάβρωσης (m²/έτος)/ Τομέα ως το 2050</u>	<u>Μέση % Ετήσια Απώλεια Τομέα ως το 2050</u>	<u>Μέση ετήσια απώλεια Τομέα/ m² (cm²)</u>
Παραλία «Navarino Dunes»	0,16	29.059	21,77	3,84	709	0,53	53
Παραλία Βοϊδοκοιλιάς	0,18	6.025	28,53	4,44	147	0,70	70
Παραλία Καλαμάτας	0,2	23.536	34,30	4,86	574	0,84	84

Για 2100 είναι η μέση αναμενόμενη Α.Σ.Θ. είναι επίσης μεγαλύτερη στην παραλία της Καλαμάτας με 0,44 m ακολουθεί η παραλία της Βοϊδοκοιλιάς με 0,4 m και την μικρότερη αναμενόμενη Α.Σ.Θ. για το 2100 η παραλία της «Navarino Dunes» με 0,35 m (Πίνακας 4.11)

Ο μέσος ρυθμός Α.Σ.Θ. έως το 2100 παραμένει σταθερός από το 2050 στα 4,86 mm/ έτος για την παραλία της Καλαμάτας, 4,44 mm/ έτος για την παραλία της Βοϊδοκοιλιάς και 3,84 mm/ έτος για την παραλία της «Navarino Dunes» (Πίνακας 4.11)

Η μέση ποσοστιαία απώλεια σε κάθε περιοχή είναι μεγαλύτερη για εκείνη της παραλίας της Καλαμάτας με 48,02%, δεύτερη εκείνη της παραλίας της Βοϊδοκοιλιάς με 30,99% και η μικρότερη εκείνη της παραλίας «Navarino Dunes» με 27,11% (Πίνακας 4.11).

Σε ότι αφορά τις απώλειες σε απόλυτα μεγέθη στην παραλία «Navarino Dunes» χάνονται 36.187m² η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη εκ των άλλων. Ακολουθούν με 32.944m² οι απώλειες που θα έχει η παραλία της Καλαμάτας και με 6.544 m² η παραλία της Βοϊδοκοιλιάς (Πίνακας 4.11).

Ο μέσος ετήσιος ρυθμός απώλειας έως το 2050 είναι περίπου 400 m²/ έτος στη παραλία «Navarino Dunes», ακολουθεί ως δεύτερη υψηλότερη η παραλία της Καλαμάτας με 362 m²/ έτος και τρίτη η παραλία της Βοϊδοκοιλιάς με 72 m²/ έτος (Πίνακας 4.11).

Η μέση ετήσια ποσοστιαία απώλεια ως το 2050 του κάθε τομέα έχει ως εξής: η μεγαλύτερη είναι εκείνη της παραλίας της Καλαμάτας με 0,53% / έτος, δεύτερη εκείνη της παραλίας Βοϊδοκοιλιάς με απώλεια 0,34%/ έτος και τελευταία εκείνη της παραλίας της «Navarino Dunes» με 0,30%/ έτος (Πίνακας 4.11).

Τέλος η μέση ετήσια απώλεια για κάθε περιοχή και ανά m² είναι μεγαλύτερη στην παραλία της Καλαμάτας με 53 cm²/ έτος, δεύτερη η παραλία της Βοϊδοκοιλιάς με 34 cm²/ έτος και την μικρότερη η παραλία «Navarino Dunes» με 30 cm²/ έτος (Πίνακας 4.11).

Σε όλες τις περιπτώσεις, η απώλεια εδάφους συνδέεται κύρια με απώλεια παραλίας (φυσικών αποθέσεων), με δευτερογενείς επιπτώσεις στον τουρισμό και τις συναφείς δραστηριότητες.

Πίνακας 4.11 Συγκριτικός πίνακας Τομέων με βάση τον Μ.Ο. των τεσσάρων πιθανότερων σεναρίων κατά το 2100

<u>Περιοχή εξειδίκευσης</u>	<u>Σενάριο Μ.Ο. Ανόδου (m) 2100</u>	<u>Μέση Απώλεια κατά το 2100 (m²)</u>	<u>Μέση % Απώλεια Τομέα κατά το 2100</u>	<u>Μέσος Ρυθμός Α.Σ.Θ/ Τομέα ως το 2100 (mm/ έτος)</u>	<u>Μέσος Ρυθμός απώλειας (m²/ έτος)/Τομέα ως το 2100</u>	<u>Μέση % Ετήσια Απώλεια Τομέα ως το 2100</u>	<u>Μέση ετήσια απώλεια Τομέα/m² (cm²)</u>
Παραλία «Navarino Dunes»	0,35	36.187	27,11	3,84	398	0,30	30
Παραλία Βοϊδοκοιλιάς	0,40	6.544	30,99	4,44	72	0,34	34
Παραλία Καλαμάτας	0,44	32.944	48,02	4,85	362	0,53	53

5.1 Σύνοψη - Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση των σεναρίων Α.Σ.Θ. σε περιβάλλον G.I.S. σε τρεις παραλίες της Μεσσηνίας, όπως και των επιπτώσεων από αυτά. Από τα αποτελέσματα της εργασίας, οι επιπτώσεις κρίνονται δεδομένες και σοβαρές ειδικά σε περίπτωση που δεν ληφθούν μέτρα αντιμετώπισής τους.

- Βρέθηκε ότι η ιστορική ακτογραμμή στην Μεσσηνία κατά τον 20^ο αιώνα υποχώρησε και θα συνεχίσει να υποχωρεί και στον 21^ο από την Α.Σ.Θ. η οποία δείχνει συνεχώς επιταχυνόμενη. Η ακτογραμμή στην Ανατολική Μεσσηνία χάνεται με ταχύτερο ρυθμό από την Δυτική. Οι λόγοι οφείλονται στο μικρόκλιμα, το τοπικό ανάγλυφο και τα θαλάσσια ρεύματα τα οποία δεν αναλύονται περαιτέρω.
- Τα τέσσερα ρεαλιστικότερα σενάρια Α.Σ.Θ. κρίθηκαν: το ανώτατο και κατώτατο του E.E.A. (2016), το ανώτατο των Bonaduce et al. (2016) και εκείνο που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική από την ψηφιοποίηση των ιστορικών ακτογραμμών.
- Η μέση τιμή Α.Σ.Θ. των τεσσάρων ρεαλιστικότερων σεναρίων είναι: 0,2 m για την παραλία της Καλαμάτας, 0,18 m για την παραλία της Βοϊδοκοιλιάς και 0,16 m για την παραλία «Navarino Dunes» κατά το 2050. Για το 2100, οι αντίστοιχες τιμές είναι: 0,44 m για την παραλία της Καλαμάτας, 0,40 m για την παραλία της Βοϊδοκοιλιάς και 0,35 m για την παραλία «Navarino Dunes».
- Οι τιμές αυτές θα επιφέρουν απώλεια σε σχέση με την σημερινή τους έκταση για το 2050, ίση με 34,3% για την παραλία της Καλαμάτας, 28,53% για την παραλία της Βοϊδοκοιλιάς και 21,77% για την παραλία «Navarino Dunes».
- Αντίστοιχα, για το 2100, οι απώλειες είναι 48,02% για την παραλία της Καλαμάτας, 31% για την παραλία της Βοϊδοκοιλιάς και 27,11% για την παραλία «Navarino Dunes».

Η Μεσσηνία σε περίπτωση μη δράσεων είτε εκείνες είναι προληπτικής και προσαρμοστικής είτε κατασταλτικής φύσεως κινδυνεύει να βιώσει καταστρεπτικές συνέπειες καθώς θα απωλέσει πολύ σημαντική έκταση παραλιών που σήμερα την καθιστούν πολύ ανταγωνιστική τουριστικά σε παγκόσμιο επίπεδο.

- Ειδικότερα, η Α.Σ.Θ. στην παραλία της Καλαμάτας, θα πλήξει την τουριστική - αισθητική εικόνα της πόλης και των πολλών τουριστικών επιχειρήσεων που υπάρχουν και στηρίζουν την τοπική οικονομία. Θα τεθεί σε αβεβαιότητα η κεντρική παραλιακή οδός της πόλης Ναβαρίνου και τα τεχνικά έργα στήριξής της. Επομένως η μελέτη και τα μέτρα πρόληψης και

αντιμετώπισης για αυτή την περιοχή συνδέονται με την προστασία του παράκτιου αστικού ιστού της Καλαμάτας.

- Στην παραλία «Navarino Dunes», η Α.Σ.Θ. θα απειλήσει την έντονη ξενοδοχειακή δραστηριότητα και μια από τις πιο δυναμικές ελληνικές τουριστικές επενδύσεις την Westin Resort Costa Navarino που διαθέτει ένα παράλιο μέτωπο με σχεδόν μηδενικές κλίσεις σύμφωνα με το μηδενικό σενάριο (μη δράσης) αναφορικά με τα μέτρα πρόληψης.
- Στην παραλία της Βοϊδοκοιλιάς δεν λειτουργούν τουριστικές και άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες λόγω του περιβαλλοντικού χαρακτήρα της περιοχής και την ένταξή της στο δίκτυο Natura 2000. Όμως από την απώλεια έκτασης από την Α.Σ.Θ. συνεπάγεται την απώλεια μιας παραλίας ιδιαίτερου φυσικού κάλους και υψηλής επισκεψιμότητας. Η απώλεια της έκτασης θα είναι από μια προστατευόμενη περιοχή που αποτελεί καταφύγιο για απειλούμενα είδη πανίδας και χλωρίδας. Με την επερχόμενη Α.Σ.Θ. θα μειωθούν οι θέσεις φωλεοποίησης που προσφέρονται στα αποδημητικά πτηνά που αναπαύονται από το ταξίδι τους. Ακόμα πάνω από 0,5 m Α.Σ.Θ. θα σημαίνει εισβολή θαλασσινού νερού στην Λιμνοθάλασσα Διβαρίου και η αλλαγή του ισοζυγίου γλυκού - αλμυρού νερού υπέρ του δεύτερου πιθανώς οδηγήσει στην ανάπτυξη μακροφύτων τα οποία από ένα σημείο κυριαρχίας τους και μετά υπάρχει κίνδυνος να αλλάξουν την μορφή οικοσυστήματος σε έλος.
- Άλλες επιπτώσεις που συνδέονται με τους τομείς της παραλίας της Βοϊδοκοιλιάς και της παραλίας «Navarino Dunes» είναι η ποιότητα του αρδευτικού νερού η οποία θα υποβαθμιστεί, μετατοπίζοντας τη διεπιφάνεια αλμυρού - γλυκού νερού και οδηγώντας σε υφαλμύρυνση των υπόγειων υδάτων. Το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων που εντοπίζονται στην περιοχή και σήμερα αρδεύονται από τον φρεάτιο ορίζοντα επίσης θα επηρεαστεί.

Κλείνοντας σε περίπτωση μη δράσης σε κοινωνικοοικονομικό επίπεδο από την Α.Σ.Θ. θα πληγεί πλήθος ιδιωτών που δραστηριοποιείται στον τομέα του τουρισμού και κυρίως τον θερινό είτε άμεσα εάν δραστηριοποιείται επί του αιγιαλού, είτε έμμεσα εξαιτίας της μείωσης του τουρισμού, της ζήτησης σε σχέση με την προσφορά υπηρεσιών, την πτώση των αξιών στα ακίνητα της παραλιακής ζώνης της Καλαμάτας κ.ά. Σε οικολογικό επίπεδο η Α.Σ.Θ. στην περιοχή θα συνδεθεί με την παράκτια υποβάθμιση και γενικότερα την αστάθεια των παράκτιων οικοσυστημάτων και των υγροτόπων της Μεσσηνίας. Η υποβάθμιση αυτή είναι πολυσύνθετη και επιπροσθέτως θα επηρεάσει την ποιότητα του υπόγειου νερού και την απόδοση των καλλιεργειών της περιοχής.

5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η βιβλιογραφική επισκόπηση για την Α.Σ.Θ. στην περιοχή μελέτης ανέδειξε το έλλειμα που υπάρχει στην διερεύνηση του ζητήματος στην Π.Ε Μεσσηνίας και τις προοπτικές για μελλοντική έρευνα.

- Αναφορικά με τις δυνατότητες έρευνας, προτείνεται η ανάπτυξη ή/και εφαρμογή πιο σύνθετων μοντέλων και σύγκριση των μεταξύ τους αποτελεσμάτων. Ειδικότερα, η εφαρμογή του μοντέλου SLAMM στην Λιμνοθάλασσα Διβαρίου ενδείκνυται για την διερεύνηση των οικολογικών ισορροπιών της περιοχής σε σενάρια Α.Σ.Θ.
- Η παρούσα μεθοδολογική προσέγγιση προτείνεται να επεκταθεί και σε άλλες παράκτιες θέσεις της ευρύτερης περιοχής, όπως ο Κυπαρισσάκος κόλπος και οι παραλίες της Μεσσηνιακής Μάνης που συγκεντρώνουν σημαντικές τουριστικές δραστηριότητες και επισκεψιμότητα, ενώ χαρακτηρίζονται από υψηλή τρωτότητα.
- Η ανάλυση των επιπτώσεων από την Α.Σ.Θ. στην Π.Ε. Μεσσηνίας οφείλει να εμβαθύνει σε επιμέρους τομείς όπως ο τουρισμός, η οικονομία, η δημόσια υγεία, η γεωργία, οι υποδομές και η βιοποικιλότητα ή και σύνθετες αναλύσεις πολλών παραμέτρων, κόστους οφέλους, κ.ά.
- Ιδιαίτερα για την Μεσσηνία, χρειάζεται να υλοποιηθεί ένας χωροταξικός σχεδιασμός με πλήρη ζωνοποίηση του κινδύνου από την Α.Σ.Θ. και εκτίμηση των χρήσεων γης που απειλούνται από αυτήν. Χρειάζεται επίσης καταγραφή και αξιολόγηση των επιβλαβών δραστηριοτήτων και τεχνικών έργων που εδράζονται στην παράκτια ζώνη, τα οποία συνδέονται με φαινόμενα διάβρωσης, κατολισθήσεων, υφαλμύρυνση και άλλα οικολογικά προβλήματα.
- Ειδικότερα για τις περιοχές που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία, λόγω του ότι ανέρχονται πολύ ψηλά σε ότι αφορά την φυσική, την αισθητική, την πολιτιστική και την οικονομική τους σημασία, κρίνεται σκόπιμο να εκπονηθούν έρευνες από ειδικούς αναλυτές για το αν είναι ωφέλιμη περιβαλλοντικά και οικονομικά η κατασκευή τεχνικών έργων για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων από την Α.Σ.Θ.

1. A.D.B. (Asian Development Bank), 2005, Climate - proofing: a risk - based approach to adaptation.
2. Abuodha P.A. and Woodroffe C.D., 2006, International assessments of the vulnerability of the coastal zone to climate change, including an Australian perspective, report for the Australian Greenhouse Office in response to RFQ 116/ 2005DEH.
3. Adloff F., Somot S., Sevault F., Jordà G., Aznar R., Déqué M., Herrmann M., Marcos M., Dubois C., Padorno E., Alvarez-Fanjul E. and Gomis D., 2015, Mediterranean Sea response to climate change in an ensemble of twenty first century scenarios.
4. Alexandrakis G. and Poulos E. S., 2014, An holistic approach to beach erosion vulnerability assessment, *Scientific Reports* | 4 :6078 | DOI: 10.1038/srep06078.
5. Alverson K.D., Bradley R.S. and Pedersen T.F. (eds), 2003, Paleoclimate, global change and the future, the IGBP Series, Springer - Verlag, New York.
6. Arrhenius S., 1896, On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground, *philosophical magazine and journal of science*, series 5, Volume 41, April 1896, Pages: 237 - 276.
7. Bamber J. L. and Aspinall W. P., 2013, An expert judgement assessment of future sea level rise from the ice sheet, *Nature Climate Change* 3, 424 - 427, Received 31 July 2012 Accepted November 2012 Published online 06 January 2013.
8. Basco D.R., 1999, Overview of beach engineering in the United States of America, final report, Coastal Engineering Centre, Old Dominion University, Virginia, 116 p.
9. Bin O., Poulter B., Whitehead J. and Dumas C., 2011, Spatial hedonic models for measuring the impact of sea - level rise on coastal real estate, *Journal of Regional Science*, submitted for publication.
10. Bindoff N.L., Willebrand J., Artale V., Cazenave A., Gregory J.M., Gulev S., Hanawa K., Le Quere C., Levitus S., Nojiri Y., Shum C.K., Talley L.D. and Unnikrishnan A.S., 2007, Observations: oceanic climate change and sea level, *climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press.
11. Bjørnæs C., 2015, A guide to Representative Concentration Pathways, Center for International Climate Research (CICERO), Published 08.09.2015.
12. Bodansky D., 2001, The history of the global climate change regime, international relations and global climate change, Massachusetts Institute of Technology.

13. Bohle G. H., Downing E. T. and Watts J. M., 1994, Climate change and social vulnerability: towards a sociology and geography of food insecurity.
14. Bonaduce A., Pinardi N., Oddo P., Spada G. and Larnicol G., 2016, Sea-level variability in the Mediterranean Sea from altimetry and tide gauges, *Climate Dynamics*, November 2016, Volume 47, Pages: 2851 - 2866.
15. Bradley R.S., 1999, *Paleoclimatology. Reconstructing climates of the quaternary*, International, Geophysics, Academic Press.
16. Bruun P., 1962, Sea - level rise as a cause of shore erosion, *Journal of the waterways and harbors division*, Volume: 88, Issue 1, Pages: 117 - 132.
17. Burke M., Hsiang M. S. and Miguel E., 2015, Global non - linear effect of temperature on economic production, *Nature*: 527, 12 November 2015, Pages: 235 - 239.
18. Calafat F. M. and Jordà G., 2011, A Mediterranean Sea level reconstruction (1950 - 2008) with error budget estimates, *Global and planetary change* Volume 79, Issues 1 - 2, October - November 2011, Pages 118 - 133.
19. Carter T.R., Parry M.L., Harasawaand H. and Nishioka S., 1994, IPCC technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptation. Intergovernmental panel on climate change, UK/Tsukuba, Japan: Department of Geography, University College London/Centre for Global Environmental Research, 59 p.
20. Cazenave A. and Le Cozannet G., 2014, Sea level rise and its coastal impacts, *Earth's future* an open access agu journal, First published: 3 February 2014.
21. Chappell J., 1974, Geology of coral terraces, Huon peninsula, New Guinea: a study of quaternary tectonic movements and sea level changes, *Geol. Soc. America Bull.*, v. 84, Pages: 553 - 570.
22. Clark A.J., Farrell E. W. and Peltier W. R., 1978, Global changes in postglacial sea level: a numerical calculation, *Quaternary Research*, Volume 9, Pages: 265 - 281.
23. Climate Safe House, (<http://climatesafehouse.nz/>), lasts visit at 9/11/2017.
24. Clough J.S. and Park R.A., 2006, Modeling environmental fate and ecological effects in aquatic ecosystems, *Aquatox (Release 3)*, addendum to release 2 & 2.1 technical documentation, Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2006.
25. Commission of the European Communities, 2000, Communication from the Commission to the council and the European parliament on integrated coastal zone management: a strategy for Europe.
26. Cooper M.J.P., Beevers M.D. and Oppenheimer M., 2005, Future sea - level rise and the New Jersey coast, science, technology, and environmental policy program. Princeton, NJ: Woodrow Wilson School of Public and International Affairs, Princeton University, 37 pp.

27. Costanza R. and Ruth M., 1998, Using dynamic modeling to scope environmental problems and build consensus, *Environmental Management*, March 1998, Volume 22, Issue 2, Pages: 183 - 195.
28. Costanza R., Sklar F.H. and White M.L., 1990, Modeling coastal landscape dynamics, *BioScience* Volume 40, No. 2, February 1990, Pages: 91 - 107.
29. Costanza R., Voinov A., Boumans R., Maxwell T., Villa F., Wainger L. and Voinov H., 2002, Integrated ecological economic modeling of the Patuxent river watershed, Maryland, *Ecological Monographs*, Volume 72, Issue 2, Pages: 203 - 31.
30. Cowell J.P, Bruce G. T., Robert A. J., Craig H. E., and Simanovic D., 2006, Management of uncertainty in predicting climate - change impacts on beaches, *Journal of Coastal Research*: Volume 22, Issue 1, Pages: 232 - 245.
31. Craft C., Clough J., Ehman J., Joye S., Park R., Pennings S., Guo H. and Machmuller M., 2009, Forecasting the effects of accelerated sea - level rise on tidal marsh ecosystem services, *Frontiers in Ecology and the Environments*, Volume 7, Pages:73 - 8.
32. D'Alpaos A. and Defina A., 2007, Mathematical modeling of tidal hydrodynamics in shallow lagoons: a review of open issues and applications to the Venice lagoon, *Computers & Geosciences* Volume 33, Issue 4, May 2007, Pages: 476 - 496.
33. D'Alpaos A., Lanzoni S., Marani M. and Rinaldo A., 2007, Landscape evolution in tidal embayments: modeling the interplay of erosion, sedimentation, and vegetation dynamics, *Journal of Geophysical Research*.
34. D'Alpaos A., Lanzoni S., Mudd S.M. and Fagherazzi S., 2006, Modeling the influence of hydroperiod and vegetation on the cross - sectional formation of tidal channels, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* Volume 69, Issues 3 - 4, September 2006, Pages: 311 - 324.
35. DHI (DHI Water and Environment). MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic module short description, available at: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21/hydrodynamics>
36. DINAS- COAST Consortium, 2006, DIVA 1.5.5. CD- ROM, Potsdam, Germany: Potsdam Institute for Climate Impact Research, available at: <https://www.pik-potsdam.de/research/projects/projects-archive/favaia/diva>
37. Doukakis E., 2004, The dilemma of the illegibility of state visions: the Greek coastal legislation, May 2004.
38. Doukakis E., 2005, Coastal vulnerability and risk parameters, *European Water* 11/12: 3 - 7, 2005, E.W. Publications.

39. Easterling D.R., Meehl A.G., Parmesan C., Changnon A. S., Karl R. T. and Mearns O. L., 2000, Climate extremes: observations, modeling and impacts, *Science's Compass*, Vol: 289, 22 September 2000.
40. ECCC, 2016, Greenhouse gas sources and sinks in Canada, National Inventory Report 1990 - 2014, Part 3.
41. Ehman J., 2008, Data report on SLAMM model results for ten national wildlife refuges in South Carolina and Georgia. Georgia: Wolf Island NWR.
42. Elias E.P.L., 2000, Hydrodynamic validation of Delft2/3D with field measurements at Edmond.
43. EUROSION, 2004, Living with coastal erosion in Europe. Final report of the project, Coastal erosion - evaluation of the need for action, Directorate General Environment, European Commission.
44. Fagherazzi S., Marani M. and Blum L.K., 2004, The ecogeomorphology of tidal marshes, Washington, DC: American Geophysical Union 2004, Pages: 1 - 4.
45. Flemming N.C. and Woodworth L.P., 1988, Monthly mean sea levels in Greece during 1969 - 1983 compared to relative vertical land movements measured over different timescales, *Tectonophysics*, Volume 148 (1988), Pages: 59 - 72, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam - Printed in The Netherlands.
46. Galassi G. and Spada G., 2014, Sea - level rise in the Mediterranean Sea by 2050: roles of terrestrial ice melt, steric effects and glacial isostatic adjustment, *Global and Planetary Change* 123, 2014, Pages: 55 - 66.
47. Galbraith H., Jones R., Park R., Clough J., Herrod - Julius S., Harrington B., and Page G., 2002, Global climate change and sea level rise: potential losses of intertidal habitat for shorebirds, *Waterbirds*, Volume 25, Pages: 173 - 83.
48. Gleizon P., Punt A.G. and Lyons M.G., 2003, Modelling hydrodynamics and sediment flux within a macrotidal estuary: problems and solutions, *Science of The Total Environment*, Volumes 314 - 316, 1 October 2003, Pages: 589 - 597.
49. Glick P., Clough J. and Nunley B., 2007, Sea - level rise and coastal habitats in the Pacific Northwest an analysis for Puget sound. Southwestern Washington/Northwestern Oregon: National Wildlife Federation.
50. Gomis d., Tsimplis M., Marcos M., Fenoglio - Marc L., Pérez B., Raicich F., Vilibić I., Wöppelmann G. and Monserrat S., 2012, Mediterranean Sea - level variability and trends, *The Climate of the Mediterranean Region*, Pages: 257 - 299.
51. Gualdi S., Somot S., Li L., Artale V., Adani M., Bellucci A., Braun A., Calmanti S., Carillo A., Dell'Aquila A., Déqué M., Dubois C., Elizalde A., Harzallah A., Jacob D.,

- L'Hévéder B., May W., Oddo P., Ruti P., Sanna A., Sannino G., Scoccimarro E., Sevault F. and Navarra A., 2013, The CIRCE simulations regional climate change projections with realistic representation of the Mediterranean Sea, American Meteorological Society, January 2013.
52. Gutierrez B.T., Williams S.J. and Thieler E.R., 2007, Potential for shoreline changes due to sea - level rise along the U.S. Mid - Atlantic region, U.S. Geological survey openfile report.
 53. Haines A., Kovats R.S., Campbell - Lendrm D. and Corvalan C., 2005, Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health, Journal of the Royal Institute of Public Health: 120, Pages: 585 - 596 Published by Elsevier Ltd. 20 March 2006.
 54. Hallam A., 1984, Continental humid and arid zones during the Jurassic and cretaceous, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Volume 47, Issues 3 - 4, October 1984, Pages: 195 - 223.
 55. Hennecke W.G., 2004, G.I.S. modelling of sea - level rise induced shoreline changes inside coastal re - entrants - two examples from Southeastern Australia, Natural Hazards 2004, Volume 31, Pages: 253 -76.
 56. Hinkel J. and Klein R.J.T., 2006, Integrating knowledge for assessing coastal vulnerability to climate change, draft chapter forthcoming in managing coastal vulnerability: an integrated approach, edited by L. McFadden, R.J.Nicholls and E.C.Penning - Rowsell, Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
 57. Hinkel J. and Klein R.J.T., 2009, Integrating knowledge to assess coastal vulnerability to sea - level rise: the development of the DIVA tool, Global Environmental Change, Volume 19, Issue 3, August 2009, Pages: 384 - 395.
 58. Horton P. B., Rahmstorf S., Engelhart S. E. and Kemp C. A., 2013, Expert assessment of sea - level rise by AD 2100 and AD 2300, Quaternary Science Reviews 84, Pages: 1 - 6, Received 21 October 2013, Accepted 1 November 2013, Available online 23 November 2013.
 59. IGCI (International Global Change Institute), 2005.
 60. IPCC 2013, What is IPCC? IPCC Factsheet, 30 August 2013, http://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/factsheets/FS_what_ipcc.pdf, τελευταία επίσκεψη στις 1/8/2017.
 61. IPCC, 1990, climate change, The IPCC scientific assessment, report prepared for IPCC working group 1, Cambridge, Great Britain.
 62. IPCC, 2000, Special report on emission scenarios, a special report of working group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

63. IPCC, 2013, Climate Change 2013, The physical science basis, summary for policy makers, technical summary and frequently asked questions, working group I contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
64. IPCC, 2015, Climate Change 2014 Synthesis Report.
65. Jevrejeva S., Moore J.C. and Grinsted A., 2012, Sea level projections to AD 2500 with a new generation of climate change scenarios, *Global and Planetary Change*, Volume 80 - 81 (2012), Pages: 14 - 20.
66. Karas J., 1997, Climate change and the Mediterranean region, report prepared for Greenpeace, Amsterdam: Greenpeace, 1997, Page: 34.
67. Kirwan M.L. and Guntenspergen G.R., 2009, Accelerated sea - level rise - a response to Craft et al., *Frontiers in Ecology and the Environment*.
68. Kirwan M.L. and Murray A.B., 2007, A coupled geomorphic and ecological model of tidal marsh evolution.
69. Klein R.J.T., Nicholls R.J., Ragoonaden S., Capobianco M., Aston J. and Buckley E.N., 2001, Technological options for adaptation to climate change in coastal zones, *Journal of Coastal Research* Volume 17, No. 3, Summer 2001, Pages: 531 - 543.
70. Kopp E. R., Simons J.F., Mitrovica X. J., Maloof C.A. and Oppenheimer M., 2009, Probabilistic assessment of sea level during the last interglacial stage, *Nature* 462, Pages: 863 - 867.
71. Kopp E.R., Kemp C. A., Bittermann K., Horton P.B., Donnelly P.J., Gehrels W. R., Hay C.C., Mitrovica X. J., Morrow D. E. and Rahmsorf S., 2016, Temperature - driven global sea - level variability in the Common Era, *Centre National d'Etudes Spatiales*, Toulouse.
72. Krestenitis Y.N., Androulidakis Y.S., Kontos Y.N. and Georgakopoulos G., 2010, Coastal inundation in the north - eastern Mediterranean coastal zone due to storm surge events, *Journal of Coastal Conservation*, DOI 10.1007/s11852 - 010 - 0090 - 7.
73. Lee J.K., Park R.A. and Mausel P.W., 1992, Application of geoprocessing and simulation modeling to estimate impacts of sea level rise on the northeast coast of Florida, journal name: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, (United States), Journal Volume: 58:11.
74. Lee J.K., Park R.A., Mausel P.W. and Howe R.C., 1991, G.I.S. - related modeling of impacts of sea level rise on coastal areas, *G.I.S./LIS '91 Conference*, Atlanta, Georgia, Pages: 356 - 67.
75. Lesser G.R., Roelvink J.A., van Kester J.A.T.M. and Stelling G.S., 2004, Development and validation of a three - dimensional morphological model, *Coastal Engineering* Volume 51, Issues 8 - 9, October 2004, Pages: 883 - 915.

76. Li X., Rowley R.J., Kostelnick J.C., Braaten D., Meisel J., 2009, G.I.S. analysis of global impacts from sea level rise, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Volume: 75, Pages: 807 - 18.
77. Linham M.M. and Nicholls J. R., 2010, *Technologies for climate change adaptation - coastal erosion and flooding*, UNEP, TNA Guidebook Series.
78. Llasat M.C., Llasat - Botija M., Prat M.A., Porc F., Price C., Mugnai A., Lagouvardos K., Kotroni V., Katsanos D., Michaelides S., Yair Y., Savvidou K. and Nicolaidis K., 2010, High - impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database, *Adv. Geosci*, 23, 1 - 9.
79. Marani M., Lanzoni S., Silvestri S. and Rinaldo A., 2004, Tidal landforms, patterns of halophytic vegetation and the fate of the lagoon of Venice, *Journal of Marine Systems* Volume 51, Issues 1 - 4, November 2004, Pages: 191 - 210
80. Marcos M. and Tsimplis N. M., 2008, Coastal sea level trends in southern Europe, *Geophys. J. Int.* (2008) 175, Pages: 70 - 82.
81. Martin J.F., Reyes E., Kemp G.P., Mashriqui H. and Day J., 2002, Landscape modeling of the Mississippi Delta: using a series of landscape models, we examined the survival and creation of Mississippi Delta marshes and the impact of altered riverine inputs, accelerated sea - level rise, and management proposals on these marshes, *BioScience*, Volume 52, Issue 4, 1 April 2002, Pages: 357 - 365.
82. McCulloch T.M. and Esat T., 2000, The coral record of last interglacial sea levels and sea surface temperatures, *Chemical Geology* Volume 169, Issues 1 - 2, 15 August 2000, Pages: 107 - 129.
83. Mengel M., Levermann A., Frieler K., Robinson A., Marzeion B. and Winkelmann R., 2016, Future sea level rise constrained by observations and long - term commitment, Centre National d'Etudes Spatiales, Toulouse, France, and approved January 19, 2016 (received for review January 20, 2015).
84. Meyssignac B., Calafat F.M., Somot S., Rupolo V., Stocchi P., Llovel W. and Cazenave A., 2011, Two - dimensional reconstruction of the Mediterranean Sea level over 1970-2006 from tide gage data and regional ocean circulation model outputs, *Glob. Planet. Change*, doi:10.1016/j.gloplacha.2011.03.002.
85. Milliman J. D., 1992, Sea - level response to climate change and tectonics in the Mediterranean Sea, In: Jeftic L., Milliman J. D. and Sestini G. (eds). *Climatic Change and the Mediterranean*, Pages: 45 - 57, London: Edward Arnold.
86. Milliman J., 1998, *Sea - level response to climate change and tectonics in the Mediterranean Sea*, Woods Hole Oceanographic Institute, MA, USA.

87. Moorhead K.K. and Brinson M.M., 1995, Response of wetlands to rising sea level of in the lower coastal plain of North Carolina, *Ecological Applications*, Volume 5, Pages: 261 - 71.
88. Morris J.T., Sundareshwar P.V., Nietch C.T., Kjerfve B., Cahoon D.R., 2002, Responses of coastal wetlands to rising sea level, *Ecological Society of America*, Volume 83, Pages: 2869 - 77.
89. National Geophysical Data Center (NGDC), 2001, Topography data and images, <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/topo.html>, [accessed 12.08.08].
90. National Wildlife Federation (NWF), 2006, An unfavorable tide global warming, coastal habitats and sportfishing in Florida, Florida: National Wildlife Federation, Florida Wildlife Federation, June 2006.
91. Nicholls R., Wong P., Burkett V., Codignotto J., Hay J., McLean R., et al., 2007, Coastal systems and low - lying areas. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, United Kingdom/New York, USA: Cambridge University Press, 2007, Pages: 315 - 56.
92. NOAA, 2016, Global Climate Report - Annual 2016, <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613>, τελευταία επίσκεψη στις 2/8/2017.
93. Otto - Bliesner B.L. et al., 2006, Simulating Arctic climate warmth and icefield retreat in the last interglaciation, *Science*, Volume 311, Pages: 1751 - 3.
94. Papanikolaou D., Fountoulis J., Metaxas C., 2007, Active faults, deformation rates and Quaternary paleogeography at Kyparissiakos Gulf (SW Greece) deduced from onshore and offshore data.
95. Park R.A., Armentano T.V. and Cloonan C.L., 1986, Effects of changes in stratospheric ozone and global climate, Volume 4, Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Pages: 129 - 52.
96. Park R.A., Treehan M.S., Mausel P.W. and Howe R.C., 1989, The potential effects of global climate change on the United States, Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Pages: 1 - 55.
97. Park RA, Lee JK and Canning D., 1993, potential effects of sea-level rise on Puget sound wetlands, *Geocarto International*, Volume 8, 1993- Issue 4: Global Environmental Change.
98. Peltier W.R. and Fairbanks R.G., 2006, Global glacial ice Volume and last glacial maximum duration from an extended Barbados sea level record, *Quaternary Science Reviews* Volume 25, Issues 23 - 24, December 2006, Pages: 3322 - 3337.

99. Peterson N.H. and Rasch P., 2005, Modelling of the Asian tsunami off the coast of Northern Sumatra.
100. Pethick J., 1984, An introduction to coastal geomorphology, Pages: 1 - 5, 211 - 217, 233 - 237. Edward Arnold. London.
101. Pfeffer W. T., Harper J. T. and O'Neil S., 2008, Kinematic constraints on glacier contributions to 21st - century sea - level Rise, Science 05 Sep 2008: Volume 321, Issue 5894, Pages: 1340 - 1343.
102. Pidwirny M., 2006, The greenhouse effect, Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition, <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7h.html>, τελευταία επίσκεψη στις 29/6/2017.
103. Pilkey O.H. and Thieler E.R., 1992, Quaternary coasts of the United States: marine and lacustrine systems, Pages: 4 - 7, SEPM Special Publication No. 48. In: Fletcher C.H., Wehmiller J.F., editors.
104. Plass G. N., 1955, The carbon dioxide theory of climatic change, The Johns Hopkins University, Baltimore.
105. Poulter B. and Halpin P.N., 2008, Raster modelling of coastal flooding from sea-level rise, International Journal of Geographical Information Science 2008, Volume 22, Pages: 167 - 82.
106. PSMSL, 2004: monthly and annual mean sea level station files.
107. Reyes E., 2009, Coastal wetlands: an integrated ecosystem approach. Elsevier Pages 885 - 908.
108. Reyes E., Day J.W., Lara - Dominguez A.L., Sanchez - Gil P., Zarate Lomeli D. and Yanez - Arancibia A., 2004, Assessing coastal management plans using watershed spatial models for the Mississippi Delta, USA, and the Ususmacinta - Grijalva Delta, Mexico, Ocean & Coastal Management Volume 47, Issues 11 - 12, 2004, Pages: 693 - 708.
109. Reyes E., Martin F.J., Day W.G., Kemp G.P. and Mashriqui H., 2004, River forcing at work: ecological modeling of prograding and regressive Deltas, Wetlands Ecology and Management April 2004, Volume 12, Issue 2, Pages: 103 - 114.
110. Reyes E., White M.L., Martin J.F., Kemp G.P., Day J.W. and Aravamuthan V., 2000, Landscape modeling of coastal habitat change in the Mississippi Delta, Ecological Society of America, Volume 81, Pages: 2331 - 49.
111. Richards J. and Nicholls R.J., 2007, PESETA - projections of economic impacts of climate change in sectors of Europe based on bottom - up analysis. Coastal systems: adaptation assessment results, final report.

112. Rohling E.J., Braun, Grant K., Kucera M., Roberts A.P., Siddall M. and Trommer G., 2010, Comparison between Holocene and marine isotope stage - 11 sea - level histories, *Earth and Planetary Science Letters* Volume 291, Issues 1 - 4, 1 March 2010, Pages 97 - 105.
113. Rowley R.J., Kostelnick J.C., Braaten D., Li X. and Meisel J., 2007, Risk of rising sea level to population and land area, *Eos*, Volume 88, No. 9, 27 February 2007.
114. Schwartz M., 2005, *Encyclopedia of coastal science*, Springer.
115. Shackleton J.N., 2000, The 100,000 - year Ice - Age cycle identified and found to lag temperature, carbon dioxide, and orbital eccentricity, *Science* 15 Sep 2000: Vol. 289, Issue 5486, pp. 1897 - 1902.
116. Siddall M., Rohling E.J., Almogi - Labin A. and Hemleben C., Sea - level fluctuations during the last glacial cycle, *Nature* Vol 423, 19 June 2003
117. Silvestri S., Defina A. and Marani M., 2005, Tidal regime, salinity and salt marsh plant zonation, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 62, Issues 1 - 2, January 2005, Pages: 119 - 130
118. Smit B., Burton I., Klein R.J.T., Street R., 1999, The science of adaptation: a framework for assessment, mitigation and adaptation strategies for global change September 1999, Volume 4, Issue 3 - 4, Pages: 199 - 213.
119. Solomon S., Qin D., Manning M. et al. (2007), *Climate change 2007: the physical science basis, contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press.
120. Stirling C.H., Esat T.M., Lambeck K. and McCulloch M.T., 1998, Timing and duration of the last interglacial: evidence for a restricted interval of widespread coral reef growth, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume 160, Issues 3 - 4, August 1998, Pages: 745 - 762.
121. Temmerman S., Bouma T.J., Van de Koppel J., Van der Wal D., De Vries M.B. and Herman P.M.J., Vegetation causes channel erosion in a tidal landscape, *Geology* Volume 35, Number 7 July, 2007.
122. Temmerman S., Govers G., Meire P. and Wartel S., 2003, Modelling long - term tidal marsh growth under changing tidal conditions and suspended sediment concentrations, Scheldt estuary, Belgium, *Marine Geology* Volume 193, Issues 1 - 2, 15 January 2003, Pages: 151 - 169.
123. Temmerman S., Govers G., Wartel S. and Meire P., 2004, Modelling estuarine variations in tidal marsh sedimentation: response to changing sea level and suspended sediment

- concentrations, Marine Geology Volume 212, Issues 1 - 4, 30 November 2004, Pages: 1 - 19.
124. Titus G.J. and Richman C., 2001, Maps of lands vulnerable to sea level rise: modeled elevations along the US Atlantic and Gulf coasts, Climate Research, Volume 18, Pages: 205- 228, Published November 2.
 125. Titus J.G. and Richman C., 2001, Maps of lands vulnerable to sea level rise: modeled elevations along the US Atlantic and Gulf coasts, Climate Research 2001, Volume 18, Pages: 205 - 28.
 126. Titus J.G., Park, R.A., Leatherman, S.P., Weggel, J.R., Greene, M.S., Mausel, P.W., Brown, S., Gaunt, C., Trehan, M. and Yohe, G., 1991, Greenhouse effect and sea - level rise: the cost of holding back the sea. Coastal Management, Volume 19, Pages: 171 - 204.
 127. Tsimplis N.M., Calafat F. M., Marcos M., Jordà G., Gomis D., Fenoglio - Marc L., Struglia V. M., Josey S. A. and Chambers D.P., 2013, The effect of the NAO on sea level and on mass changes in the Mediterranean Sea, Journal of Geophysical Research: Oceans, Volume 118, Pages: 944 - 952.
 128. Tsimplis N.M., Marcos M. and Somot S., 2008, 21st century Mediterranean Sea level rise: steric and atmospheric pressure contributions from a regional model, Global and Planetary Change, Volume 63 (2008), Pages: 105 - 111.
 129. U.S. National Park Service, 2015, What is Climate Change, Golden Gate National Recreation Area California, [https://www.nps.gov/goga/learn/nature/climate - change - causes.htm](https://www.nps.gov/goga/learn/nature/climate-change-causes.htm) , τελευταία επίσκεψη στις 3/8/2017.
 130. UNEP, 1992, Climatic change and the Mediterranean, Edward Arnold London, World Resources 1991 - 92, Oxford University Press, New York and London.
 131. United Nations, 1992, FCCC/Informal/84GE.05 - 62220 (E) 200705.
 132. Vafeidis T.A., Nicholls J.R., McFadden L., Tol R. S. J., Hinkel J., Spencer T., Grashoff S.P. Boot G., and Klein R. J. T., 2008, A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea - level rise, Journal of Coastal Research: Volume 24, Issue 4: Pages: 917 - 924.
 133. Vail P. R., Hardenbol J. and Todd R. G., 1984, Jurassic unconformities, chronostratigraphy, and sea - level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy, Interregional Unconformities and Hydrocarbon Accumulation, Pages: 129 - 144.
 134. Vermeer M. and Rahmstorf S., 2009, Global sea level linked to global temperature, Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America 106: Pages: 21527 - 21532.

135. Vitousek S., Fletcher C.H., Merrifield M.A., Pawlak G. and Storlazzi C.D., 2007, Model scenarios of shoreline change at Kaanapali Beach, Maui, Hawaii: Seasonal and Extreme Events.
136. Voinov A., Costanza R., Wainger L., Boumans R., Villa F., Maxwell T. and Voinov H., 1999, Patuxent landscape model: integrated ecological economic modeling of a watershed, *Environmental Modelling & Software*, Volume 14, Issue 5, March 1999, Pages: 473 - 491
137. Von Storch H., Woth K., 2008, Storm surges: perspectives and options, *Sustainability Science*, April 2008, Volume 3, Issue 1, Pages: 33 - 43.
138. Waelbroeck C., Labeyrie L., Michel E., Duplessy J.C., McManus J.F., Lambeck K., Balbon E. and Labracherie M., 2002, Sea - level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records, *Quaternary Science Reviews* Volume 21, Issues 1 - 3, January 2002, Pages: 295 - 305.
139. Walcott R.I., 1972, Gravity, flexure and the growth of sedimentary basins at a continental edge, *Geological Society of America*, Volume 83, Pages: 1845 - 48.
140. Walstra D.J.R., Roelvink J.A. and Groeneweg J., 2000, Calculation of wave - driven currents in a 3D mean flow model.
141. Warrick R. and others, 1996, Changes in sea level, in: Houghton J. T., and others (eds). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Report of IPCC Working Group I*, Pages: 363 - 405. Cambridge, Cambridge University Press.
142. Warrick R., 2007, SimCLIM: recent developments of an integrated model for multiscale, risk - based assessments of climate change impacts and adaptation, proceedings of the 2007 ANZSEE conference on re - inventing sustainability: a climate for change, held 3 - 6 July 2007, Noosaville, Queensland, Australia.
143. Warrick R., 2009, Using SimCLIM for modelling the impacts of climate extremes in a changing climate: a preliminary case study of household water harvesting in Southeast Queensland, 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13 - 17 July 2009.
144. Warrick R., Ye W., Kouwenhoven P., Hay J.E. and Cheatham C., 2005, New developments of the SimCLIM model for simulating adaptation to risks arising from climate variability and change, *International Congress on modelling and simulation Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand*, Pages: 170 - 6.
145. Warrick R.A. and Cox G., 2007, New developments of SimCLIM software tools for risk - based assessments of climate change impacts and adaptation in the water resource sector, *Proceedings of the 3rd International Conference on Climate and Water* / Pages: 518 - 524.

146. Weart S., 2008, The discovery of global warming, revised and expanded edition, <https://history.aip.org/climate/pdf.htm>, τελευταία επίσκεψη 12/7/2017.
147. Weiss J.L. and Overpeck J.T., 2009, http://www.geo.arizona.edu/dgesl/research/other/climate_change_and_sea_level/sea_level_rise/sea_level_rise.htm [accessed 08.10.09].
148. Weston N.B., Dixon R.E. and Joye S.B., 2006, Ramifications of increased salinity in tidal freshwater sediments: geochemistry and microbial pathways of organic matter mineralization, *Journal of Geophysical Research*, Volume 111.
149. Woodworth L.P. and Blackman L.D., 2004, Evidence for systematic changes in extreme high waters since the mid - 1970s, *Journal of Climate*, Volume 17, Pages: 1190 - 7.
150. Woodworth P.L. and Player R., 2003, The permanent service for mean sea level: an update to the 21st century, *J. Coastal Res.* Volume 19, Pages: 287 - 295.
151. Zalasiewicz et al., 2015, When did the Anthropocene begin? A mid - twentieth century boundary level is stratigraphically optimal, *Quaternary International*, Volume 383, 5 October 2015, Pages: 196 - 203.
152. Zhang K, Douglas B.C. and Leatherman S.P., 2000, Twentieth - century storm activity along the U.S. East Coast, *Journal of Climate*, Volume 13, Pages: 1748 - 61.
153. Ακύλας Ε., Λυκούδης Σ. και Λάλας Δ., 2005, Κλιματική αλλαγή στον Ελλαδικό χώρο ανάλυση παρατηρήσεων: τάσεις των τελευταίων 100 ετών, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Παρατηρητήριο Κλιματικών Αλλαγών, Αθήνα, 2005.
154. Αποστολάκης Μ., 2012, Προστασία και ολοκληρωμένη διαχείριση των παράκτιων ζωνών: το διεθνές, ευρωπαϊκό και εθνικό πλαίσιο, μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Αθήνα: Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.
155. Βελεγράκης Α., 2010, Ερευνητική πρόταση ΘΑΛΗΣ: επιπτώσεις της ανόδου στάθμης θάλασσας στις νησιωτικές παραλίες του Αιγαίου πελάγους, ΕΣΠΑ 2007 - 2013, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Περιβάλλοντος, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας.
156. Δουκάκης Ε., 2005, Ανάπτυξη παράκτιας ζώνης, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα
157. Δουκάκης Ε., 2005, Οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στην χερσαία ζώνη του κόλπου του Ναυπλίου, 5ο Εθνικό Συνέδριο της ΕΕΔΥΠ, Ξάνθη, 6 - 9/4, 2005, σελίδες: 365 - 371, [Πρακτικά συνεδρίου].
158. Δουκάκης Ε., 2007, Σημειώσεις μαθήματος: Ανάπτυξη παράκτιας ζώνης, Διατμηματικό - Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Σχολές Πολιτικών Μηχανικών, Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Μηχανικών Μεταλλείων & Μεταλλουργών, και Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Ιανουάριος 2007

159. Δουκάκης Ε., 2007, Πρόληψη - διαχείριση των φυσικών καταστροφών. Ο ρόλος του Αγρονόμου Τοπογράφου Μηχανικού, Τ.Ε.Ε., ΠΣΔΑΤΜ, Ε.Μ.Π. , 11 Δεκεμβρίου, 2007: Αθήνα.
160. Δρίτσας Σ.Ε., 2009, Κλιματική αλλαγή - άνοδος της στάθμης της θάλασσας: συνέπειες στις παράκτιες περιοχές, Εργαστήριο Δημογραφικών και Κοινωνικών Αναλύσεων, ΤΜΧΠΠΑ, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
161. Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.), από τον διαδικτυακό ιστότοπο: http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams_html?dr_cit y=Kalamata&dr_region=ClimPeloponnese, τελευταία επίσκεψη στις 2/9/2017.
162. Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τον Παράκτιο χώρο και τα Νησιά, 2009, Άρθρα: 2&6.
163. Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), δημογραφικά χαρακτηριστικά/ 2011, πίνακας Β02, μόνιμος πληθυσμός κατά τόπο γέννησης (Δήμος, χώρα εξωτερικού), διαθέσιμο στο: <http://www.statistics.gr/el/statistics/ - /publication/SAM03/ - τελευταία επίσκεψη 29/8/2017>.
164. Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), εργατικό δυναμικό (Τριμηνιαία) / 1^ο Τρίμηνο 2017 / 2011 χρονοσειρά 09, μέσο ετήσιο ποσοστό ανεργίας κατά νομό (1^ο Τρίμηνο 2004 - Τρίμηνο 2017), διαθέσιμο στο: <https://www.statistics.gr/el/statistics//publication/SJO01/2017 - Q1>, τελευταία επίσκεψη 29/8/2017.
165. ΕΜΕΚΑ 2011, Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα, Τράπεζα της Ελλάδος, Ιούνης 2011.
166. ΕΜΕΚΑ, 2014, Ελληνικός τουρισμός και κλιματική αλλαγή: πολιτικές προσαρμογής και νέα στρατηγική ανάπτυξης, Τράπεζα της Ελλάδος, Οκτώβριος 2014.
167. Ζερεφός Χ., 2011, Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα, προλεγόμενα και σύνοψη των ευρημάτων της έκθεσης, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδας, Ιούνης 2011.
168. Ηλιοπούλου Δ., 2015, Βιώσιμη τουριστική ανάπτυξη με την χρήση εναλλακτικών μορφών τουρισμού στον νομό Μεσσηνίας, διπλωματική εργασία, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: Οικολογία - Διαχείριση & Προστασία Φυσικού Περιβάλλοντος, τμήμα Βιολογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
169. Κόκκινος Δ., Γαλιατσάτου Π. και Πρίνος Π., 2014, Κατηγορίες καταιγίδων και εκτίμηση δεικτών τρωτότητας σε κατάκλυση, Τεχνική έκθεση Π 4.1, ερευνητικό πρόγραμμα ΘΑΛΗΣ-έργο CCSEAWAVS, www.thalis - ccseawavs.auth.gr, Α.Π.Θ.

170. Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος Θ., 1997, Τεχνική υδρολογία, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
171. Κουφογιάννης Η., 2013, Μορφοτεκτονική ανάλυση του ρήγματος Πεύκου Μεσσηνίας.
172. Μανταγάρης Α., 2008, Περιφερειακή μελέτη νομού Μεσσηνίας, διπλωματική εργασία, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα στην Διοίκηση Επιχειρήσεων - Ολική Ποιότητα, τμήμα Οργάνωσης και διοίκησης Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
173. Μήτσιος Ι., Πασχαλίδης Χ. και Παγανιάς Κ., 1995, Διάβρωση των εδαφών αντιδιαβρωτικά μέτρα προστασίας, εκδόσεις ΖΥΜΕΛ.
174. Μπαλτάς Ε., 2013, Εφαρμοσμένη μετεωρολογία, 2^η έκδοση αναθεωρημένη, κεφάλαιο: 6^ο, εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
175. Νικολάου Α., 2011, Προβλέψεις οπισθοχώρησης λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας των παραλιών της νήσου Λέσβου, διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Φεβρουάριος 2011, Μυτιλήνη.
176. Νίκου Μ., 2014, Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον σχεδιασμό του χώρου. Εφαρμογή στην νότιο Πιερία, διπλωματική εργασία, Διατμηματικό Διεπιστημονικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών: Περιβάλλον και Ανάπτυξη Ορεινών Περιοχών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
177. Παπαδοπούλου Γ., 2003, Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στον αιγιαλό και την παραλία, Διπλωματική εργασία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, Ιούλιος 2003.
178. Παπανικολάου Μ., Παπανικολάου Δ. και Βασιλάκης Ε., 2011, Μεταβολές στην στάθμη της θάλασσας και επιπτώσεις στις ακτές, ΕΜΕΚΑ, ΤΤΕ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2011.
179. Παρούσης Η., Αλεξανδρής Σ. και Σιμώνης Α., 1990, Το πρόβλημα διάβρωσης των ελληνικών εδαφών, 3^ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο, Θεσσαλονίκη.
180. Πετρέλης Ν., 2012, Διερεύνηση των μοντέλων εκτίμησης της μετακίνησης της ακτογραμμής, διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα, Οκτώβριος 2012.
181. Ρόκος Δ., Αρχές - Στόχοι - Μέτρα για την προστασία και διαχείριση των Ελληνικών ακτών, Εργαστήριο Κτηματολογίου και Αναδασμού, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 1982.
182. Σταχτέας Χ., 1996, Το κλίμα όντως αλλάζει, Νέα Οικολογία, Τεύχος Νοεμβρίου 1996, σελίδες: 28 - 32.
183. Τσάφου Κ. και Χατζηχαριστού Ε., 2007, Τεχνικογεωλογικός χάρτης Πελοποννήσου με την χρήση G.I.S., πτυχιακή εργασία, τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Γεωφυσικής, τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών Πανεπιστήμιο Πατρών.