ΤΡΑΠΕΖΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΕΥΡΩΣΥΣΤΗΜΑ

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΣΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΕΚΠΑ

ΜΙΧΑΛΗΣ ΔΙΑΚΑΚΗΣ, MSC

ΙΟΥΝΙΟΣ 2011

Ε. Βενιζέλου 21, 102 50 Αθήνα

Τηλ. 210 – 320.2850, 1   Fax. 210 – 320.2513

e-mail: climatechange@bankofgreece.gr   S.W.I.F.T.: BNGRGRAA

Πίνακας Περιεχομένων

Ευρετήριο Πινάκων

ΤΡΑΠΕΖΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΕΥΡΩΣΥΣΤΗΜΑ

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Ευρετήριο εικόνων και σχημάτων

1. Εισαγωγή

1.1 Επιδράσεις κλιματικής αλλαγής στις φυσικές καταστροφές σε παγκόσμιο επίπεδο.

Το καθεστώς εκδήλωσης ορισμένων φυσικών καταστροφών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από κλιματικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η βροχόπτωση. Μια πιθανή αλλαγή στις μέσες και τις ακραίες τιμές των κλιματικών παραμέτρων είναι πιθανό να συνοδευτεί από διαφοροποιήσεις στον κίνδυνο που διατρέχει ο παγκόσμιος πληθυσμός από φυσικές καταστροφές.

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC)[1] (Rosenzweig et al. 2007) αλλά και άλλοι οργανισμοί και μελετητές (Loukas et al. 2002; Gruber et al. 2004; Hennessy et al. 2007; Lehner et al. 2006) αναγνωρίζουν τις πλημμύρες, τα φαινόμενα ξηρασίας, τις κατολισθήσεις, τις μετακινήσεις εδαφικών μαζών και τις δασικές πυρκαγιές ως τους τύπους φυσικών καταστροφών επί των οποίων μια πιθανή κλιματική αλλαγή θα είχε αντίκτυπο.

Σύμφωνα με τους Rosenzweig et al. (2007) το κόστος των φυσικών καταστροφών που έχουν σχέση με κλιματικούς παράγοντες αυξάνουν τα τελευταία 40 χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι Rosenzweig et al. (2007) αναγνωρίζουν ότι παράλληλα υπάρχει σαφής αύξηση της έκθεσης των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε κίνδυνο. Η αύξηση αυτή αποτελεί με βεβαιότητα μια συνιστώσα ενίσχυσης του κόστους των φυσικών καταστροφών.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (EEA 2004) τα συμβάντα που συνδέονται με ακραίες καιρικές συνθήκες (όπως οι πλημμύρες, η ξηρασία κ.α.) έχουν αυξηθεί τα τελευταία 20 χρόνια στην Ευρώπη. Παράλληλα το κόστος των φυσικών καταστροφών που σχετίζονται με το κλίμα καταγράφει και αυτό σημαντική άνοδο (EEA 2004).

Οι Anderson και Bausch (2006), θεωρούν ότι είναι δύσκολο να εντοπισθούν τάσεις διαφοροποίησης σε ακραία κλιματικά γεγονότα λόγω του ότι είναι εξορισμού σπάνια. Παρόλα αυτά υποστηρίζουν ότι από τη θεωρητική γνώση που είναι διαθέσιμη, διαφαίνεται ότι περισσότερα ακραία κλιματικά συμβάντα μπορεί να είναι ένα πιθανό αποτέλεσμα αλλαγής του κλίματος.

Τις τελευταίες δεκαετίες η συστηματική αποτύπωση των τιμών των κλιματικών παραμέτρων έχει χρησιμοποιηθεί ως βάση στην προσπάθεια πρόγνωσης των τάσεων εκδήλωσης καταστροφών ανά τον κόσμο.

Έτσι, στην Ασία διαφαίνονται τάσεις αυξήσεις του κινδύνου παράκτιων (Wassmann et al. 2004) και ποτάμιων πλημμυρών (Highashi et al. 2006, Qin 2002) στα μεγάλα δέλτα ποταμών, καθώς και αύξηση του κινδύνου πλημμυρών και κατολισθήσεων στις ορεινές λεκάνες. Παράλληλα, υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με την διακύμανση της

[1] IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change.

συχνότητας και της έντασης των δασικών πυρκαγιών υπό το μελλοντικό κλιματικό καθεστώς (Cruz et al. 2007).

Στην Ωκεανία προβλέπεται αύξηση της έντασης των καταιγίδων (Hennessy et al. 2007), ενώ σε ορισμένα τμήματα της ηπείρου προβλέπονται αυξημένα φαινόμενα ξηρασίας (Hennessy et al. 2007) και αύξηση της συχνότητας και της έντασης των δασικών πυρκαγιών (Williams et al 2001).

Στη βόρεια Αμερικάνικη ήπειρο οι Flannigan et al. (2004) και Brown et al. (2004) υποστηρίζουν ότι θα αυξηθεί η ένταση και η συχνότητα των δασικών πυρκαγιών. Οι Loukas et al (2002) και Merritt et al. (2005) προβλέπουν αύξηση στις ποτάμιες πλημμύρες, ενώ οι Spittlehouse και Stewart(2003) υποστηρίζουν ότι θα υπάρξει αύξηση της διάβρωσης και συχνότερες κατολισθήσεις. Στη νότιο Αμερική σύμφωνα με το IPCC (2007) αναμένεται κυρίως άνοδος του κινδύνου παράκτιων πλημμυρών που συνδέεται με την προβλεπόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, σύμφωνα με το IPCC (2007) έχουν παρατηρηθεί τάσεις μεταβολής στην ένταση της βροχόπτωσης, στην έκταση των φαινομένων ξηρασίας, στην δραστηριότητα των τροπικών καταιγίδων αλλά και σε διάφορες άλλες κλιματικές παραμέτρους (πίνακας 1).

Πίνακας 1. Ιστορικές τάσεις διαφοροποίησης ορισμένων ακραίων κλιματικών φαινομένων και οι αντίστοιχες προβλέψεις για τον 21ο αιώνα. (IPCC 2007).

Φαινόμενο και τάση μεταβολής	Πιθανότητα ύπαρξης της τάσης στα τέλη του 20ου αιώνα (κυρίως μετά το 1960)	Πιθανότητα διατήρησης των τάσεων στον 21ο αιώνα βάσει των προβλέψεων
Αύξηση των συμβάντων έντονης βροχόπτωσης	Πιθανό	Πολύ πιθανό
Αύξηση της έκτασης επίδρασης των φαινομένων ξηρασίας	Πιθανό σε ορισμένες περιοχές	Πιθανό
Αύξηση της δραστηριότητας τροπικών καταιγίδων	Πιθανό	Πιθανό

1.2 Επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στις φυσικές καταστροφές στο χώρο της Ευρώπης και της Μεσογείου

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (EEA 2004) στον Ευρωπαϊκό χώρο είναι πιθανόν να αυξηθεί η ένταση και η συχνότητα καταστροφικών γεγονότων καθώς και να διαφοροποιηθεί η χωρική τους εξάπλωση, γεγονός που θα οδηγήσει σε αύξηση του κόστους τους.

Τομέσοετήσιοκόστοςτωνφυσικώνκαταστροφώνπουπροκλήθηκαναπόακραίακλιματικά συμβάνταέχειαυξηθείτατελευταία 20 χρόνια από τα 5 δισ. δολάρια στα 11 δισ. δολάρια, ενώ οι καταστροφές που σχετίζονται με κλιματικά γεγονότα στην Ευρώπη έχουν διπλασιαστεί τη δεκαετία του 1990 σε σχέση με την προηγούμενη, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα είδη καταστροφών (EEA 2004).

Σύμφωνα με τον Brauch (2003) περισσότερο από 50% των φυσικών καταστροφών στην Ευρώπη στο διάστημα 1975-2001 έλαβε χώρα στο νότο (Γαλλία, Ιταλία, Ελλάδα, Ισπανία, Πορτογαλία).

Κατά τους Chriestensen et al. (2007) στην Ευρώπη προβλέπεται μεγαλύτερη άνοδος της μέσης θερμοκρασίας από τις άλλες ηπείρους. Η άνοδος αυτή προβλέπεται μεγαλύτερη το χειμώνα για την βόρεια Ευρώπη ενώ για τη Μεσόγειο προβλέπεται μεγαλύτερη κατά την θερινή περίοδο. Παρόλο που πολλά χαρακτηριστικά των προβλέψεων των διαφορετικών μοντέλων συμπίπτουν, υπάρχουν σημαντικές αβεβαιότητες. Για παράδειγμα οι προβλεπόμενες αλλαγές της μέσης θερμοκρασίας διαφέρουν σημαντικά (σε πολλές περιπτώσεις πάνω από 100%) μεταξύ των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας (GCM) (Chriestensen et al. 2007).

Σε ότι αφορά τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, προκύπτει ότι η μέση βροχόπτωση προβλέπεται να αυξηθεί για το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης και να μειωθεί για τη περιοχή της Μεσογείου (Chriestensen et al. 2007). Υπάρχει όμως αβεβαιότητα σε ότι αφορά στην έκταση και στην χωρική κατανομή των αλλαγών αυτών.

Για παράδειγμα, οι Frei et al. (2006) διαπιστώνουν ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές (έως και 100%) μεταξύ των προβλέψεων διαφόρων περιοχικών μοντέλων για την Ευρώπη στις τιμές της βροχόπτωσης περιόδου επαναφοράς 5 ετών. Κατά τους Hulme et al., (1999)ένας σημαντικό παράγοντας αβεβαιότητας είναι η φυσική μεταβλητότητα του Μεσογειακού κλίματος.

Ιδιαίτερα στις προβλέψεις σχετικά με την ένταση της βροχόπτωσης καταγράφονται σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις παρούσες τιμές κυρίως σε επίπεδο περιόδων επαναφοράς. (Huntingford et al., 2003; Barnett et al., 2006; Frei et al., 2006).

Συγκεκριμένα οι Frei et al., 2006 υποστηρίζουν ότι για την βόρεια Ευρώπη το συνολικό ύψος βροχής 5 ημερών περιόδου επαναφοράς 8 έως 18 ετών (ανάλογα με τα διάφορα μοντέλα), την περίοδο 2071-2100 θα έχει περίοδο επαναφοράς τα 5 έτη. Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρξει μια αλλαγή στην ετήσια πιθανότητα εμφάνισης από 0,055 έως 0,125 που είναι σήμερα στο 0,2 (διαφοροποίηση της τάξης του 60%-260%). Τιμές που αναδεικνύουν και την αβεβαιότητα που υπάρχει στις προβλέψεις.

Οι Lehner et al. (2006) υποστηρίζουν ότι στην βόρεια Ευρώπη θα υπάρξει αύξηση του κινδύνου πλημμυρών ενώ στη νότια αύξηση των φαινομένων ξηρασίας. Σύμφωνα με τους Pausas (2004) και Morriondo et al. (2006) προβλέπεται αύξηση των φαινομένων ξηρασίας και της συχνότητας εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών.

Παράλληλα σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (ΕΕΑ 2004) σχεδόν σε όλη την Ευρωπαϊκή ήπειρο θα αυξηθούν οι αιφνίδιες πλημμύρες (“flash floods”).

Παρόλα αυτά οι Alcamo et al. (2007), Benito et al. (2005) και Barrera et al. (2006) υποστηρίζουν ότι τουλάχιστον στην περιοχή της Μεσογείου δεν υπάρχουν ιστορικά υδρολογικά στοιχεία που να επιβεβαιώνουν αυτή την τάση.

Βέβαια οι αλλαγές των χρήσεων γης και της βλάστησης στην εκδήλωση πλημμυρών θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο καθεστώς της πλημμυρικής επικινδυνότητας, αν και ακόμα δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς (Alcamo et al. 2007).

Οι Gruber et al. (2004)υποστηρίζουν ότι θα αυξηθεί η διάβρωση και οι κατολισθήσεις στην περιοχή των Άλπεων. Σύμφωνα με τον Jette-Nantel (2006) στην περιοχή των Άλπεων η προβλεπόμενη αλλαγή των κλιματικών παραμέτρων αναμένεται να οδηγήσει σε:

- Αύξηση στην ένταση και την συχνότητα των χειμερινών πλημμυρών
- Αύξησητηςσυχνότηταςτωνκατολισθήσεωνκαιγενικάτωνμετακινήσεωνεδαφικού υλικού
- Αύξηση του αριθμού των πυρκαγιών στην περιοχή των νότιων Άλπεων

Σχετικά με τις παράκτιες πλημμύρες οι Lozano et al. (2004)υποστηρίζουν ότι είναι πιθανή η αύξηση του κινδύνου παράκτιων πλημμυρών στην δυτική Ευρώπη.

Στο χώρο της Μεσογείου ο van Beek (2002) συνδέει πιθανές αλλαγές στο κλίμα της περιοχής με διαφοροποιήσεις στο καθεστώς εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων στο μέλλον.

1.3 Βιβλιογραφία

Alcamo, J., J.M. Moreno, B. Nováky, M. Bindi, R. Corobov, R.J.N. Devoy, C. Giannakopoulos, E. Martin, J.E. Olesen, A. Shvidenko, 2007: Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-580.

Anderson, J.; Bausch, C. 2006. Climate change and natural disasters: Scientific evidence of a possible relation between recent natural disasters and climate change. Policy Brief for the EP Environment Committee, IP/A/ENVI/FWC/2005–35. Available at<http://www.europarl.eu.int/comparl/envi/pdf/externalexpertise/ieep_61eg/naturaldisasters.pdf>. Accessed on 27 April 2006.

Barnett, D.N., et al., 2006: Quantifying uncertainty in changes in extreme event frequency in response to doubled CO2 using a large ensemble of GCM simulations. Clim. Dyn., 26, 489–511.

Barrera, A., M.C. Llasat and M. Barriendos, 2006: Estimation of extreme flash flood evolution in Barcelona County from 1351 to 2005. Nat. Haz. Earth Syst. Sci., 6, 505-518.

Benito, G., M. Barriendos, M.C. Llasat, M. Machado and V. Thorndycraft, 2005: Impactos sobre los riesgos naturales de origen climático: riesgo de crecidas fluviales. Evaluación Preliminar de los Impactos en España por efecto del Cambio Climático, J.M. Moreno, Ed., Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 527-548.

Brauch H., G., 2003.Urbanization and Natural Disasters in the Mediterranean: Population Growth and Climate Change in the 21st Century. In: Kreimer A, Arnold M, Carlin A (eds) Building safer cities: The future of disaster risk. Disaster Risk Management Series no3. The World Bank: Washington pp.149-164.

Brown, T. J., B. L. Hall and A. L. Westerling, 2004: The impact of twenty-first century climate change on wildland fire danger in the western United States: An applications perspective. Clim. Change, 62, 365-388.

Coudrain, A., B. Francou and Z.W. Kundzewicz, 2005: Glacier shrinkage in the Andes and consequences for water resources. Hydrol. Sci. J., 50, 925-932.

Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton, 2007: Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Cruz, R.V., H. Harasawa, M. Lal, S. Wu, Y. Anokhin, B. Punsalmaa, Y. Honda, M. Jafari, C. Li and N. Huu Ninh, 2007: Asia. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 469-506.

EEA, 2004: Impacts of Europe's Changing Climate: An Indicator-Based Assessment. EEA Report No 2/2004, European Environment Agency, Copenhagen (or: Luxembourg, Office for Official Publications of the EC), 107 pp.

Fischlin, A., G.F. Midgley, J.T. Price, R. Leemans, B. Gopal, C. Turley, M.D.A. Rounsevell, O.P. Dube, J. Tarazona, A.A. Velichko, 2007: Ecosystems, their properties, goods, and services. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 211-272.

Flannigan M. D., Stocks B. J., Wotton B. M. (2000). Climate change and forest fires. The science of the total environment 262, 221-229.

Flannigan, M. D., K. A. Logan, B. D. Amiro, W. R. Skinner and B. J. Stocks, 2004: Future area burned in Canada. Clim. Change, 72, 1-16.

Frei, C., et al., 2006: Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. J. Geophys. Res., 111, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.

Gruber, S., M. Hoelzle and W. Haeberli, 2004: Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003. Geophys. Res. Lett., 31, L13504, doi:10.1029/2004GL020051.

Hennessy, K., B. Fitzharris, B.C. Bates, N. Harvey, S.M. Howden, L. Hughes, J. Salinger and R. Warrick, 2007: Australia and New Zealand. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 507-540.

Higashi, H., K. Dairaku and T. Matuura, 2006: Impacts of global warming on heavy precipitation frequency and flood risk. Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering, 50, 205-210.

Hulme, M., et al., 1999: Relative impacts of human-induced climate change and natural variability. Nature, 397, 688–691.

Huntingford, C., et al., 2003: Regional climate-model predictions of extreme rainfall for a changing climate. Q. J. R.. Meteorol. Soc., 129, 1607–1621.

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22.

Jette-Nantel S. 2006. Climate change and natural hazards in the Alpine Arc: a cross country analysis. Wengen-2006 Workshop, Oct. 4-6, Wengen, Switzerland, Organization for economic cooperation and development.

Kundzewicz, Z.W., L.J. Mata, N.W. Arnell, P. Döll, P. Kabat, B. Jiménez, K.A. Miller, T. Oki, Z. Sen and I.A. Shiklomanov, 2007: Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.

Lehner, B., P. Döll, J. Alcamo, H. Henrichs and F. Kaspar, 2006: Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. Climatic Change, 75, 273-299

Loukas, A., L. Vasiliades and N.R. Dalezios, 2002: Potential climate change impacts on flood producing mechanisms in southern British Columbia, Canada using the CGCMA1 simulation results. J. Hydrol., 259, 163-188.

Lozano, I., R.J.N. Devoy, W. May and U. Andersen, 2004: Storminess and vulnerability along the Atlantic coastlines of Europe: analysis of storm records and of a greenhouse gases induced climate scenario. Mar. Geol., 210, 205-225.

Merritt, W., Y. Alila, M. Barton, B. Taylor, S. Cohen and D. Neilsen, 2005: Hydrologic response to scenarios of climate change in sub-watersheds of the Okanagan basin, British Columbia. J. Hydrology, 326, 79-108, doi:10.1016/j.jhydrol.2005.1010.1025.

Milly, P.C.D., R.T. Wetherald, K.A. Dunne and T.L. Delworth, 2002: Increasing risk of great floods in a changing climate. Nature, 415, 514-517.

Moriondo, M., P. Good, R. Durao, M. Bindi, C. Giannakopoulos and J. Corte-Real, 2006: Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. Clim. Res., 31, 85-95.

Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof and Co-authors 2007: Technical Summary. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 23-78.

Pausas, J.G. and D. Abdel Malak, 2004: Spatial and temporal patterns of fire and climate change in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). Ecology, Conservation and Management of Mediterranean Climate Ecosystems of the World, M. Arianoutsou and V.P. Papanastasis, Eds., 10th International Conference on Mediterranean Climate Ecosystems, Rhodes, Greece. Millpress, Rotterdam, 1-6.

Pausas, J.G., 2004: Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). Climatic Change, 63, 337-350.

Qin, D.H., 2002: Assessment of environment change in Western China, 2nd Volume. Prediction of Environment Change in Western China, Science Press, Beijing, 64-161.

Reynard, N., S. Crooks, R. Wilby and A. Kay, 2004: Climate Change and Flood Frequency in the UK, Proceedings of the 39th DEFRA Flood and Coastal Management Conference, York. Defra, London, 11.1.1-11.1.12.

Rosenzweig, C., G. Casassa, D.J. Karoly, A. Imeson, C. Liu, A. Menzel, S. Rawlins, T.L. Root, B. Seguin, P. Tryjanowski, 2007: Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 79-131.

Rumsby, B.T. and M.G. Macklin, 1994: Channel and floodplain response to recent abrupt climate change: the Tyne Basin, Northern England. Earth Surf. Proc. Land., 19, 499-515.

Schneider, S.H., S. Semenov, A. Patwardhan, I. Burton, C.H.D. Magadza, M. Oppenheimer, A.B. Pittock, A. Rahman, J.B. Smith, A. Suarez and F. Yamin, 2007: Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 779-810.

Spittlehouse, D.L. and R.B. Stewart, 2003: Adaptation to climate change in forest management. BC J. Ecosyst. Manag., 4, 1-11.

Wassmann, R., N.X. Hien, C.T. Hoanh and T.P. Tuong, 2004: Sea level rise affecting the Vietnamese Mekong Delta: water elevation in the flood season and implications for rice production. Climatic Change, 66, 89-107.

Wetherald, R.T., and S. Manabe, 2002: Simulation of hydrologic changes associated with global warming. J. Geophys. Res., 107, 4379.

Williams, A.A., D.J. Karoly and N. Tapper, 2001: The sensitivity of Australian fire danger to climate change. ClimaticChange, 49, 171-191.

2. Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στο καθεστώς της κατολισθητικής επικινδυνότητας

2.1. Εισαγωγή

Οι κατολισθήσεις είναι ένας από τους πιο σημαντικούς τύπους φυσικών καταστροφών. Η εκδήλωση τους απειλεί και σε πολλές περιπτώσεις επιφέρει ζημιές στην ανάπτυξη υποδομών, την πραγματοποίηση τεχνικών έργων αλλά και την ίδια τη βιωσιμότητα οικισμών καθώς και τη ζωή και την ευημερία τμημάτων του ανθρώπινου πληθυσμού.

Η εξάρτηση των κατολισθητικών φαινομένων από τις κλιματικές παραμέτρους όπως περιγράφεται παρακάτω καθιστά απαραίτητη τη διερεύνηση πιθανών αλλαγών στον κατολισθητικό κίνδυνο ως επακόλουθο μιας ενδεχόμενης κλιματικής αλλαγής.

Ιδιαίτερα στον ελληνικό χώρο όπου παρατηρείται αυξημένος κίνδυνος και πλούσιο ιστορικό κατολισθητικών φαινομένων έχει εξαιρετικό ενδιαφέρον το είδος και η έκταση μιας τέτοιας αλλαγής.

Οι κινήσεις εδαφικών μαζών και τα κατολισθητικά φαινόμενα εμφανίζονται ως αποτέλεσμα ενδογενών ή εξωγενών φυσικών διεργασιών ή ανθρωπογενών παρεμβάσεων ή συνδυασμού των ανωτέρω.

Το κλίμα έχει αναγνωρισθεί ως ένας από τους σημαντικούς εξωγενείς παράγοντες με εξαιρετικά σημαντική επίδραση στις γεωμορφικές διεργασίες, μέρος των οποίων είναι και οι κινήσεις εδαφικών μαζών (Crozier 1986, WP/WLI 1994, Sidle & Ochiai 2006).

Σύμφωνα με την ομάδα εργασίας της UNESCO σχετικά με τα αίτια των κατολισθήσεων (WP/WLI 1994) αυτά χωρίζονται σε Προκαταρκτικούς παράγοντες (Causal factors) και Παράγοντες εναύσματος (Triggering factors), ενώ διαμορφώνονται και τέσσερεις μεγάλες ομάδες παραγόντων:

- Οι εδαφικές συνθήκες
- Οι γεωμορφολογικές συνθήκες
- Οι φυσικές συνθήκες
- Οι ανθρωπογενείς συνθήκες

Οι παράγοντες αυτοί δρώντας είτε από μόνοι τους είτε συνδυαστικά οδηγούν στη γένεση των αστοχιών και την επακόλουθη κίνηση εδαφικών μαζών.

Στον πίνακα που ακολουθεί (πίνακας 2) παρουσιάζονται αναλυτικά οι παράγοντες αυτοί και η ταξινόμησή τους.

Πίνακας 2. Παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων (WP/WLI 1994).

Α. ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ		**Προκαταρκτικοί παράγοντες (Causal factors)**
Πλαστικό, χαμηλής αντοχής υλικό		
Ευαίσθητο υλικό		
Υλικό επιρρεπές σε θραύση		
Αποσαθρωμένο υλικό		
Διατμημένο υλικό		
Ρωγματωμένο ή διακλασμένο υλικό		
Βραχόμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών *(στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις)*		
Βραχόμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών *(ρήγματα, επιφάνειες επαφής, ασυμφωνίες)*		
Διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα		
Διαφοροποιήσεις στη δυσκαμψία		
Β. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	**Παράγοντες εναύσματος (Triggering factors)**	
Τεκτονική ανύψωση		
Ανύψωση λόγω ηφαιστείων		
Επίδραση παγετώνων		
Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρανούς		
Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρανούς		
Διάβρωση της βάσης του πρανούς από παγετώνα		
Διάβρωση των πλευρών του πρανούς		
Εσωτερική διάβρωση		
Φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέψη του πρανούς		
Απομάκρυνση φυτοκάλυψης *(από πυρκαγιά, διάβρωση, κ.τ.λ.)*		
Γ. ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ		
Έντονη, μικρής διάρκειας βροχόπτωση		
Γρήγορο λιώσιμο χιονιού		
Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση		
Γρήγορη πτώση στάθμης νερού μετά από πλημμύρες, παλίρροιες ή διάρρηξη φυσικών φραγμάτων		
Σεισμοί		
Εκρήξεις ηφαιστείων		
Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαιστείων		
Λιώσιμο παγωμένου εδάφους		
Αποσάθρωση λόγω παγετού		
Αποσάθρωση από διόγκωση και συρρίκνωση εδαφών		
Δ. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ		
Εκσκαφές στη βάση (πόδι) του πρανούς		
Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέψη του πρανούς		
Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμιευτήρες		
Άρδευση		
Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων		
Διαρροή νερών από τεχνικά έργα *(δίκτυα, δεξαμενές, κ.τ.λ.)*		
Αποψίλωση		
Λατομεία και μεταλλεία		
Δημιουργία χωματερών		
Τεχνητές δονήσεις *(κυκλοφορία οχημάτων, κ.τ.λ.)*		

Ιδιαίτερα για τον Ελληνικό χώρο οι Κούκης και Ζιούρκας (1989) καταγράφουν 64 διαφορετικές αιτίες για την εκδήλωση κατολισθήσεων. Οι 10 σημαντικότερες αιτίες βάση της συχνότητας εμφάνισης παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3. Δέκα κυριότερα αίτια εκδήλωσης κατολισθήσεων στον ελληνικό χώρο βάση συχνότητας εμφάνισης (Κούκης & Ζιούρκας 1989, τροποποιημένο).

Κυριότερα αίτια εκδήλωσης κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο
Διάβρωση από ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα
Αύξηση νερού των πόρων
Υφή υλικών πρανούς
Λιθολογική σύσταση πρανούς
Βροχοπτώσεις
Φυσική αποσύνθεση (αποσάθρωση) κοκκώδων πετρωμάτων
Γεωμετρία του πρανούς (προσανατολισμός & κλίση)
Αποσύνθεση αργίλων
Εναλλαγή περατών αδιαπέρατων πετρωμάτων
Ανθρωπογενείς δονήσεις (κυκλοφορία οχημάτων)

Η βροχόπτωση έχει αναγνωρισθεί ως ένας από τους παράγοντες με τη μεγαλύτερη επιρροή στην εκδήλωση κατολισθήσεων (Canuti et al 1985, Wieczorek 1996, Iverson 2000, Wieczorek & Glade 2005.

Ο Asch (1996) και οι Bumaκαι Dehn (1998) χωρίζουν τα είδη κατολισθήσεων σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το βάθος τους και την κλιματική παράμετρο που διαδραματίζει το σημαντικότερο ρόλο.

Πίνακας 4. Ιδιότητες κάθε είδους ολίσθησης σε σχέση με την κλιματική παράμετρο που αποτελεί την αιτία της ολίσθησης (Buma & Dehn 1998).

	Λασπορροές, Εδαφορροές, (Debris flows)	Ολισθήσεις	Βαθειές ολισθήσεις
Βάθος επιφάνειας αστοχίας	Επιφανειακές	2-10 m	10-40m
Κλιματικό έναυσμα	Καταιγίδα υψηλής έντασης	Αυξημένη συσσώρευση βροχής σε επίπεδο ημέρας - μήνα	Υψηλή συγκέντρωση βροχής σε επίπεδο μήνα - έτους

Από τον πίνακα 4 προκύπτει ότι οι πιο ρηχές εδαφικές κινήσεις σχετίζονται με μικρότερης διάρκειας βροχοπτώσεις (υψηλές εντάσεις, μεγάλα ημερήσια ποσά) ενώ οι βαθύτερες κινήσεις σχετίζονται με υψηλά μηνιαία και ετήσια ποσά).

Οι Borgatti και Soldati (in press) ισχυρίζονται ότι το ξεκίνημα κατολισθητικών φαινομένων είναι περισσότερο το αποτέλεσμα μιας μακροχρόνιας διεργασίας παρά η άμεση απόκριση σε ένα συγκεκριμένο κλιματικό συμβάν. Θεωρούν όμως ότι η περιεχόμενη υγρασία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την επαναδραστηριοποίηση κατολισθήσεων, την επίσπευση ενεργών εδαφικών μετακινήσεων και την άμεση πρόκληση τους (“triggering”).

Κυρίως μετά το 1980 και την πρωτοποριακή εργασία του Caine (1980) πολλοί ερευνητές συσχέτισαν την ένταση της βροχόπτωσης (Cannon 1988, Bacchini & Zannoni 2003, Cannon & Gartner 2005, Guzzetti et al 2007, Guzzetti et al 2008) και το συνολικό ετήσιο ύψος υετού (Ayalew 1999, Buma και Dehn 2000, Collison et al 2000) αλλά και άλλα παρόμοια κλιματικά μεγέθη (Corominas & Moya 1996) με την εκδήλωση κατολισθήσεων. Η έρευνα των τελευταίων 30 ετών έχει οδηγήσει μάλιστα στην εγκατάσταση και λειτουργία ορισμένων επιχειρησιακών συστημάτων για την έγκαιρη προειδοποίηση κατολισθήσεων (Aleotti 2004, Baum et al 2005, Cannon & Gartner 2005) που βασίζονται στη μέτρηση κλιματικών παραγόντων.

Η σημασία του παράγοντα της βροχόπτωσης στις κατολισθήσεις τις καθιστά εξαρτώμενες από το εκάστοτε κλιματικού καθεστώτος και επομένως ευπαθείς σε πιθανές αλλαγές του. Ένα τέτοιο ενδεχόμενο θα έχει σημαντικότερες συνέπειες στον χώρο της Μεσογείου ο οποίος θεωρείται ιδιαίτερα ευπαθής σε αλλαγές των κλιματικών παραμέτρων (Mulligan 1998) και ταυτόχρονα συνδυάζει πολλούς από τους προκαταρκτικούς παράγοντες που οξύνουν τα κατολισθητικά φαινόμενα (λιθολογία, τεκτονική, μορφολογία, ανθρώπινος παράγοντας κ.α.).

2.2 Κατολισθητικά φαινόμενα στην Ελλάδα

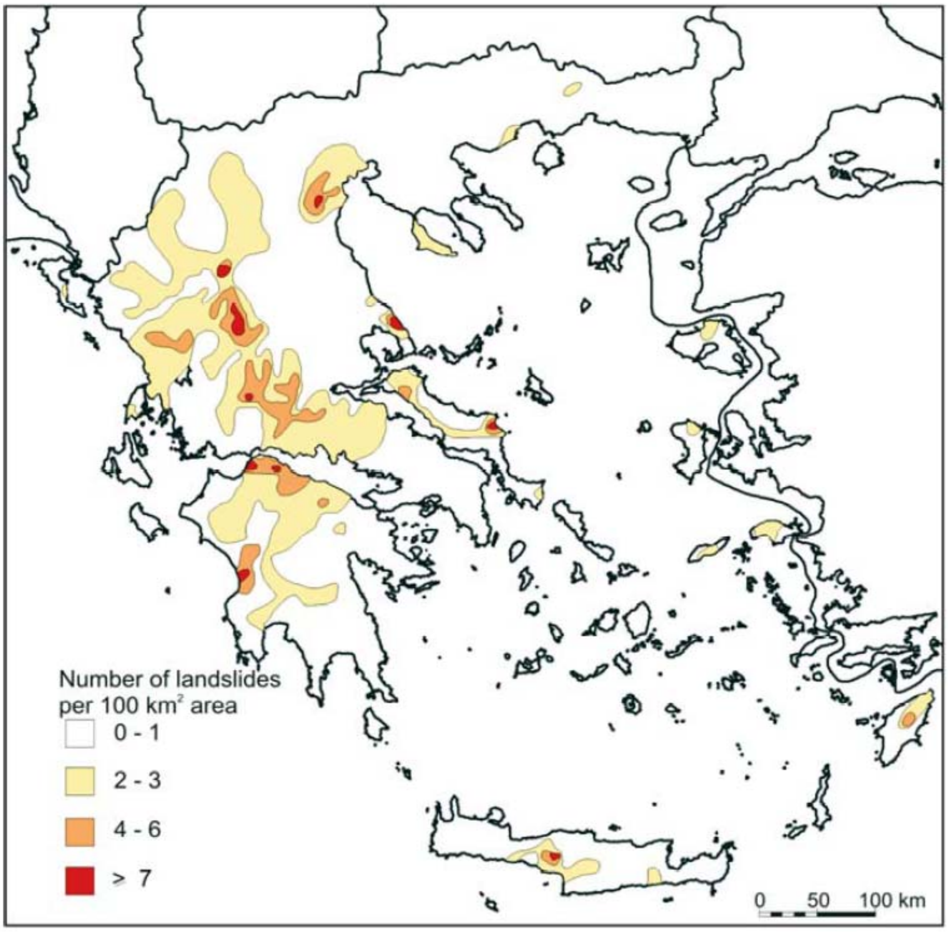
Οι εδαφικές κινήσεις και τα κατολισθητικά φαινόμενα αποτελούν συχνό φαινόμενο στην Ελλάδα καθώς η εκδήλωσή τους ευνοείται από το γεωτεκτονικό καθεστώς του Ελληνικού χώρου. Το καθεστώς αυτό καθορίζει όλους τους επιμέρους παράγοντες όπως η ενεργή τεκτονική, η γεωμορφολογία, η λιθολογία και το κλίμα οι οποίοι αποτελούν σημαντικές παραμέτρους στην εκδήλωση κατολισθήσεων.

Στον Ελληνικό χώρο καταγράφεται πλούσιο ιστορικό κατολισθητικών φαινομένων τα οποία σε πολλές περιπτώσεις έχουν επιφέρει θανάτους και τραυματισμούς αλλά και σημαντικές ζημιές σε περιουσίες και υποδομές.

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κατολισθητικών φαινομένων εμφανίζονται στις κεντρικές και δυτικές περιοχές κυρίως γύρω από την οροσειρά της Πίνδου, αλλά και στη βόρεια και δυτική Πελοπόννησο (Κούκης & Ζιούρκας 1989, Ζιούρκας & Κούκης 1992, Koukis et al 1997a, Koukis et al 1997b).

Οι Koukis et al (2005) κατάρτησαν ένα χάρτη κατολισθητικής επικινδυνότητας επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου μελετώντας τον αριθμό των φαινομένων ανά 100 τετραγωνικά χιλιόμετρα (Σχήμα 1). Με βάση το χάρτη αυτό παρατηρεί κανείς ότι τα περισσότερα γεγονότα συγκεντρώνονται στην οροσειρά της Πίνδου, στη βόρεια και δυτική Πελοπόννησο αλλά και στην Πιερία στο Πήλιο, στην Εύβοια στην δυτική Στερεά Ελλάδα και στην Κρήτη.

Σε ότι αφορά τους παράγοντες κατολισθήσεων οι Κούκης και Ζιούρκας (1989) καταγράφουν συνολικά 64 παράγοντες που διαδραματίζουν ρόλο στην εκδήλωσή τους. Ανάμεσα σε αυτούς διαπιστώνουν ότι οι 5 κυριότεροι παράγοντες είναι οι: διάβρωση λόγω της δημιουργίας υδρορευμάτων από ατμοσφαιρικά κατακρημνισμάτα, η αύξηση νερού των πόρων, η φυσική αποσύνθεση κοκκώδων πετρωμάτων, η λιθολογική σύσταση των σχηματισμών και τέλος βροχόπτωση. Στην ίδια μελέτη οι Κούκης και Ζιούρκας (1989) καταγράφουν ως μακράν πιο συνήθεις παράγοντες που συνδέονται με το έναυσμα της κίνησης τις παρατεταμένες βροχοπτώσεις.

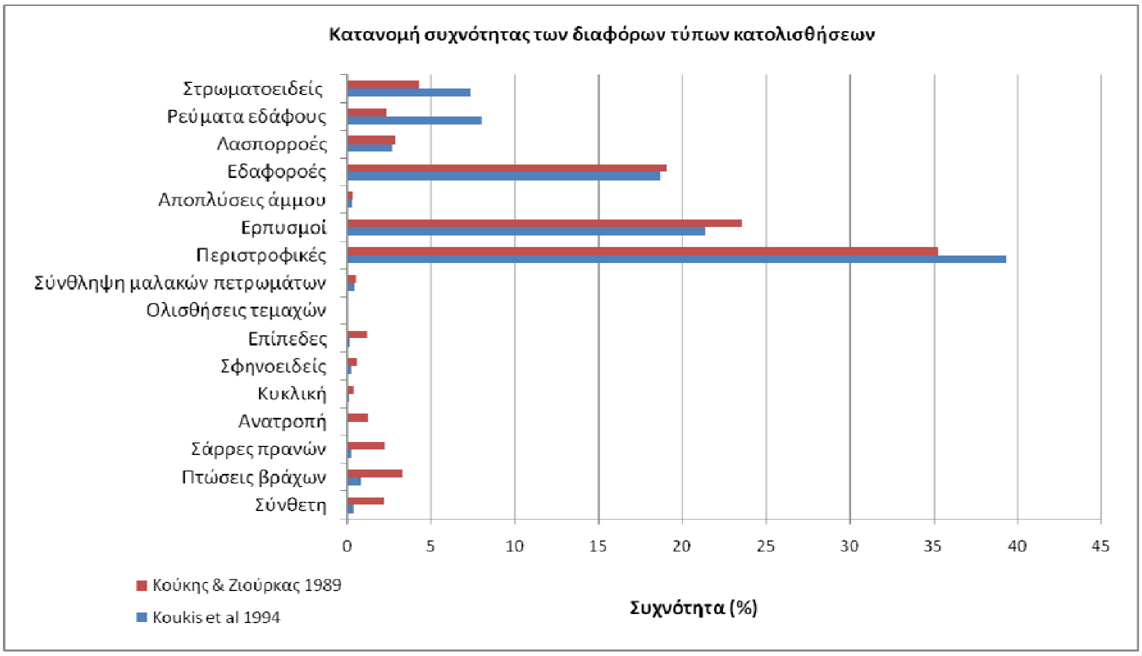


Σχήμα 1. Χάρτης ζωνών κατολισθητικής επικινδυνότητας στον Ελληνικό χώρο (Koukis et al 2005).

Σχήμα 2. Κατανομή συχνότητας παραγόντων σχετικά με το έναυσμα της κατολίσθητικής κίνησης (Κούκης& Ζιούρκας 1989 τροποποιημένο).

Οι Κούκης και Ζιούρκας (1989) παρατηρούν επίσης ότι στο 61,4% των περιπτώσεων κατολισθήσεις εκδηλώθηκαν σε περιοχές όπου λείπει η βλάστηση, κυρίως λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων.

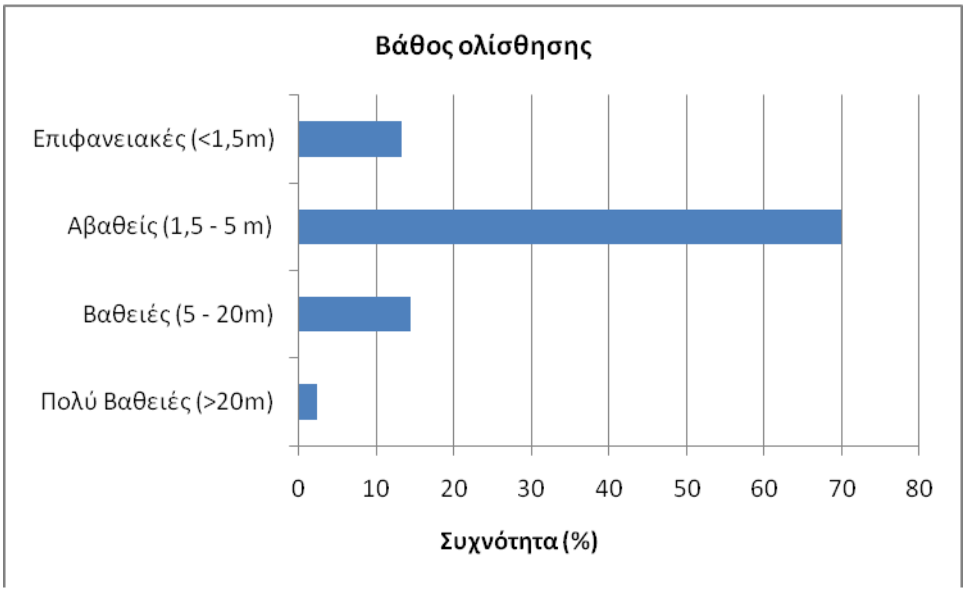
Σε ότι αφορά τους τύπους κατολισθήσεων οι Κούκης και Ζιούρκας (1989) και οι Koukis et al 1994 διαπιστώνουν ότι οι τρεις συχνότεροι τύποι στον Ελληνικό χώρο είναι κατά σειρά οι Κυκλοειδείς, οι ερπυσμοί και οι ροές εδαφών.



Σχήμα 3. Κατανομή συχνότητας των τύπων κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο (Κούκης & Ζιούρκας 1989, Koukis et al 1994).

Οι Κούκης και Ζιούρκας (1989) κατατάσσουν τις κατολισθήσεις σε 4 κατηγορίες βάσει του βάθους της επιφάνειας ολίσθησης: Επιφανειακές (<1,5μ), Αβαθείς (<5μ), Βαθιές (<20μ) και Πολύ Βαθιές (>20μ) (Σχήμα 4). Επεξεργαζόμενοι στατιστικά ένα σύνολο 800 κατολισθητικών γεγονότων διαπιστώνουν ότι οι Αβαθείς αποτελούν τη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων (~70%). Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουν και οι Koukis et al (1994).

Σε ότι αφορά στο ρόλο της λιθολογίας στα κατολισθητικά φαινόμενα οι Κούκης και Ζιούρκας (1989) θεωρούν την ύπαρξη δύο περιοχών στον Ελληνικό χώρο. Ειδικότερα στο χώρο της Δυτικής Ελλάδας διαπιστώνουν ότι οι κατολισθήσεις συνδέονται κυρίως με τους σχηματισμούς του φλύσχη και της μεταβατικής σειράς προς αυτόν, τα νεογενή, τα κορήματα αλλά και πιο συμπαγείς σχηματισμούς που είναι επωθημένοι πάνω σε λιγότερο ανθεκτικούς. Στην Ανατολική Ελλάδα οι κατολισθήσεις σύμφωνα με τους τελευταίους συνδέονται κυρίως με νεογενή και τις ζώνες κατακερματισμού και αποσάθρωσης των αλπικών πετρωμάτων. Στην ίδια μελέτη μελετώντας 800 περιπτώσεις κατολισθητικών φαινομένων στον Ελληνικό χώρο, οι Κούκης και Ζιούρκας (1989) διαπιστώνουν ότι τα περισσότερα συμβάντα κατολισθήσεων λαμβάνουν χώρα σε Τεταρτογενή ιζήματα (16,2%), σε Νεογενή ιζήματα (30.2%) και στον Φλύσχη (35,6%).



Σχήμα 4. Διάγραμμα συχνότητας σχετικά με το βάθος της κατολίσθησης (Διαβάθμιση βάθους: 1. Επιφανειακές < 1,5m., 2. Αβαθείς < 2m., 3. Βαθιές <20m., 4. Πολύ Βαθιές >20m.) (Koukis et al 1994).

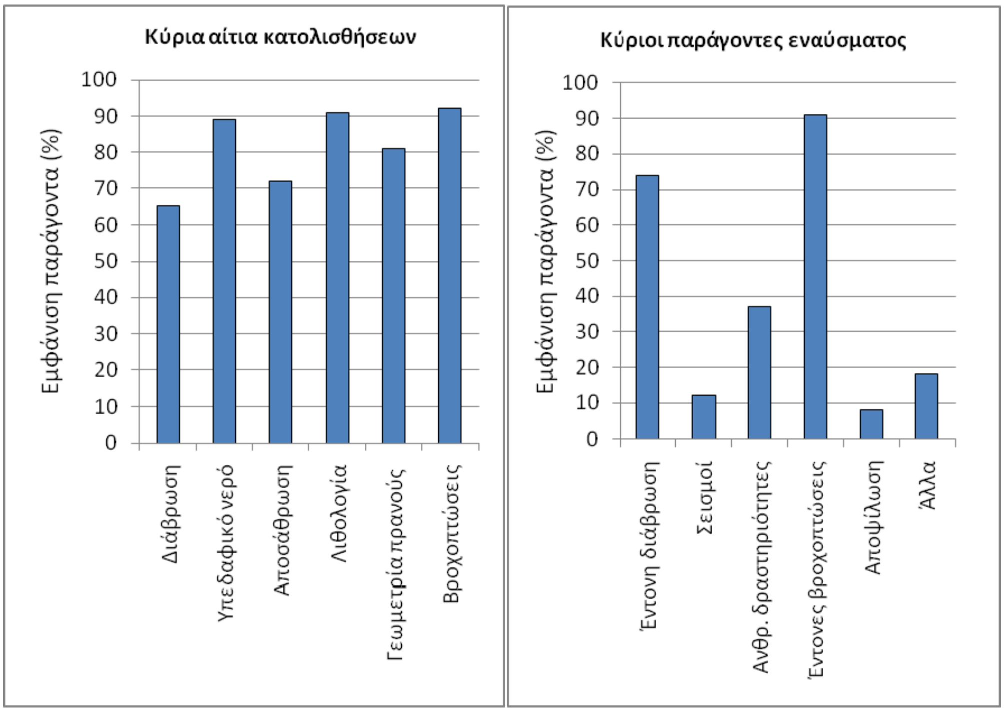
Σε νεότερη μελέτη οι Koukis et al (1994) δείχνουν ότι οι σχηματισμοί με τα περισσότερα συμβάντα κατολισθήσεων είναι ο Φλύσχης (30,35% επί του συνόλου των συμβάντων), τα Νεογενή (28,2%) και τα Τεταρτογενή ιζήματα (20,65 %).

Σε ότι αφορά τον παράγοντα της μορφολογίας οι Koukis et al (1994) διαπιστώνουν ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι κλίσεις των κλιτύων είναι από 16 έως 30 (57% των περιπτώσεων) και από 31 έως 45 (23% των περιπτώσεων).

Σε ότι αφορά στο ρόλο των κλιματικών παραγόντων, οι Koukis et al (1997α, 1997β) και οι Koukis et al (2005) αναγνωρίζουν τη βροχόπτωση ως τον πιο σημαντικό περιβαλλοντικό αίτιο κατολισθητικών συμβάντων. Ταυτόχρονα θεωρούν τις υψηλής έντασης βροχοπτώσεις ως την πιο σημαντική αιτία έναρξης ή το πιο καθοριστικό έναυσμα μιας κατολίσθησης.

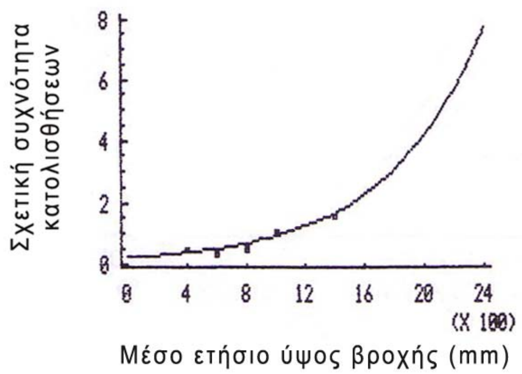
Οι Κούκης και Ζιούρκας (1989) κατέγραψαν και την κατανομή της συχνότητας εμφάνισης των παραγόντων των σχετικών με το έναυσμα τις κίνησης. Σημαντικότερες από τις παραμέτρους αυτές διαπιστώθηκε ότι είναι οι παρατεταμένη βροχόπτωση και η έντονη διάβρωση. Παράμετροι που έχουν άμεση εξάρτηση από το κλιματικό καθεστώς μιας περιοχής.

Μάλιστα οι Koukis et al (1997β) υποστηρίζουν ότι ένα μεγάλο ποσοστό (>90%) των κατολισθητικών συμβάντων στην Ελλάδα είναι άμεσα συνδεδεμένες με έντονες βροχοπτώσεις. Στην ίδια μελέτη αναλύοντας 1200 περιπτώσεις κατολισθήσεων καταγράφουν την σχετική συχνότητα εμφάνισης αιτιών και παραγόντων εναύσματος. Από τα αποτελέσματά τους φαίνεται ότι οι βροχοπτώσεις διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στον τομέα του εναύσματος όσο και στον τομέα των προκαταρκτικών αιτιών.



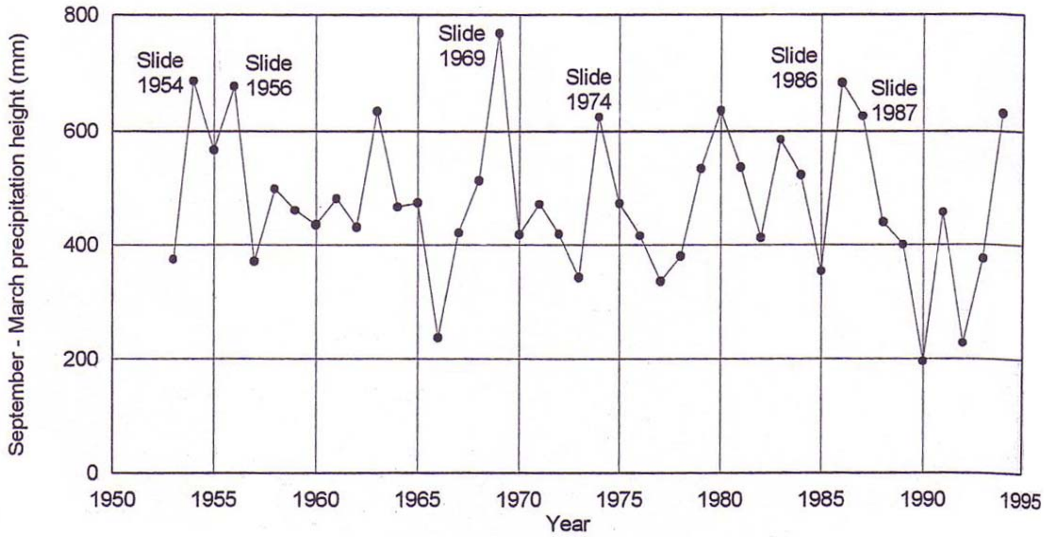
Σχήμα 5. Συχνότητα εμφάνισης προκαταρκτικών παραγόντων (αιτιών) κατολίσθησης στον Ελληνικό χώρο (αριστερά). Συχνότητα εμφάνισης παραγόντων εναύσματος στον Ελληνικό χώρο (Koukis et al 1997β).

Οι Κούκης και Ζιούρκας (1989) διαπιστώνουν σχέση μέσου ετήσιου ύψους βροχής και σχετικής συχνότητας εκδήλωσης κατολισθήσεων και θεωρούν ότι είναι εκθετική.



Σχήμα 6. Συσχέτιση μέσου ετήσιου ύψους βροχής με τη σχετική συχνότητα κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο (Κούκης & Ζίουρκας 1989).

Οι Koukis et al (1997a) αντιπαραβάλλοντας δεδομένα βροχόπτωσης με κατολισθητικά συμβάντα για την περίοδο 1953-1991 στην περιοχή της βόρειας Πελοποννήσου διαπιστώνουν σημαντική συσχέτιση μεταξύ των βροχοπτώσεων και του ρυθμού εκδήλωσης κατολισθήσεων. Οι Anagnostopoulos και Georgiadis (1997) μελετώντας την βροχόπτωση σε σχέση με τα κατολισθητικά φαινόμενα για την περίοδο 1950-1995 στην περιοχή της Πιερίας, δείχνουν την εξάρτηση των εδαφικών κινήσεων από τα αθροιστικά ποσά βροχόπτωσης. Στη μελέτη αυτή διαπιστώνουν την ύπαρξη ενός κατωφλιού στη βροχόπτωση Σεπτεμβρίου – Μαρτίου στα 600mm πέρα από το οποίο εκδηλώνονται κατολισθητικά φαινόμενα.



Σχήμα 7. Συσχέτιση του ύψους βροχής Σεπτεμβρίου - Μαρτίου κάθε έτους με την εκδήλωση κατολισθήσεων στην περιοχή της Πιερίας (Anagnostopoulos & Georgiadis 1997).

Τέλος ιδιαίτερη σημασία έχει η ίδια η τεκτονική δραστηριότητα, λόγω της οποίας τα πετρώματα κατακερματίζονται σε υψηλό βαθμό και πτυχώνονται. Τα πολλά συστήματα διακλάσεων και τα απότομα πρανή που δημιουργούνται και φυσικά οι σεισμικές δονήσεις διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο τόσο στους προκαταρκτικούς παράγοντες όσο και στους παράγοντες εναύσματος των κατολισθητικών φαινομένων.

2.3 Κλιματική αλλαγή και κατολισθήσεις

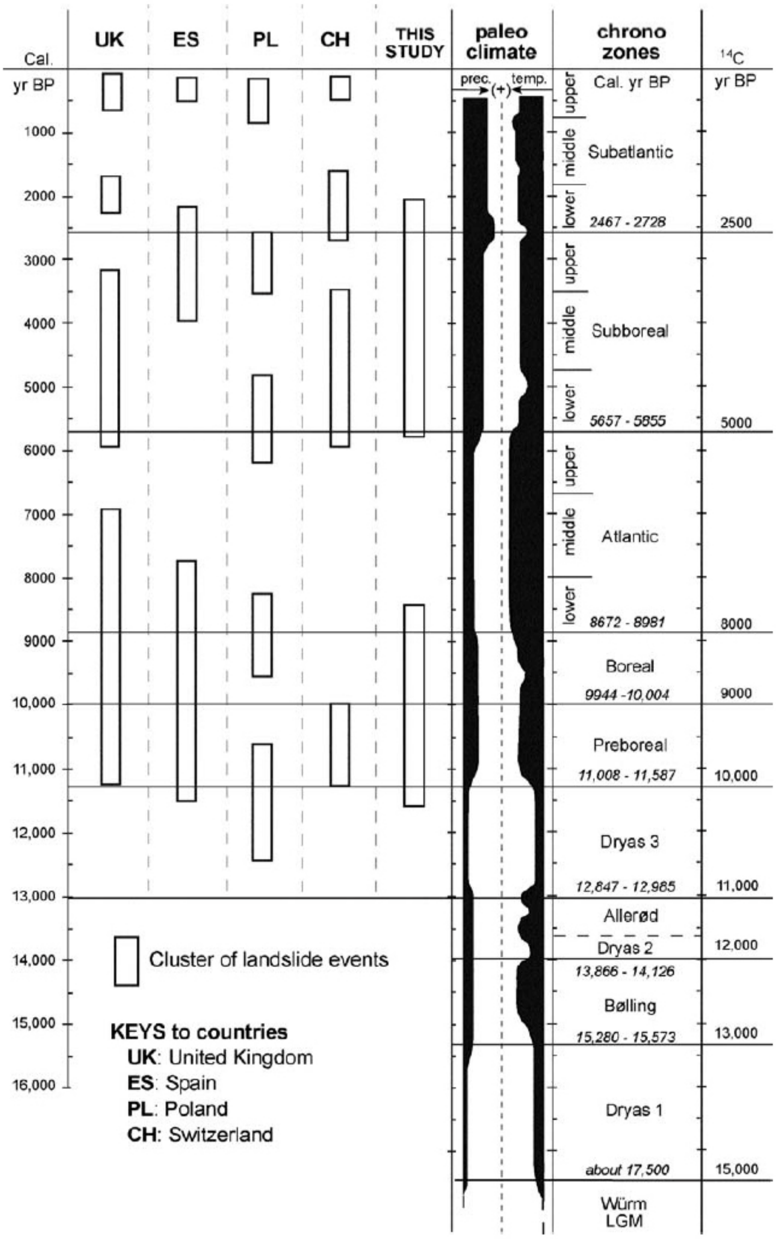
Οι κλιματικές παράμετροι και οι μεταβολές τους έχουν συνδεθεί σε πολλές περιπτώσεις με διαφοροποιήσεις στο καθεστώς της κατολισθητικής δραστηριότητας.

Οι Trauth et al (2003) δείχνουν τη συσχέτιση υγρών περιόδων του παλαιοκλίματος του Τεταρτογενούς με την συγκέντρωση γεγονότων παλαιο-κατολισθήσεων για την ίδια περίοδο στην Νότια Αμερική. Στην ίδια μελέτη υποστηρίζουν ότι την κατολισθητική δραστηριότητα με τις κλιματικές αλλαγές.

Οι Soldatti et al (2004) μελετώντας κατολισθητικά φαινόμενα των τελευταίων 11000 χρόνων στις Άλπεις, διαπιστώνουν σύνδεση της κατολισθητικής δραστηριότητας με κλιματικούς παράγοντες όπως η βροχόπτωση και η θερμοκρασία(Σχήμα 8).

Οι Borgatti και Soldati (in press) θεωρούν ότι η συχνότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων εξαρτάται από την υδρολογική κατάσταση των κλιτύων, η οποία με τη σειρά της ελέγχεται από το κλίμα. Στη μελέτη τους συγκρίνοντας τη συχνότητα των κατολισθήσεων στην περιοχή της βόρειας Ιταλίας μέσα στο Ολόκαινο, με ενδείξεις του παλαιοκλίματος της ίδιας περιόδου, διαπίστωσαν ότι οι διεργασίες κίνησης εδαφικών μαζών μπορούν να θεωρηθούν ακόμα και γεωμορφολογικοί δείκτες των κλιματικών αλλαγών του παρελθόντος (Σχήμα 9)

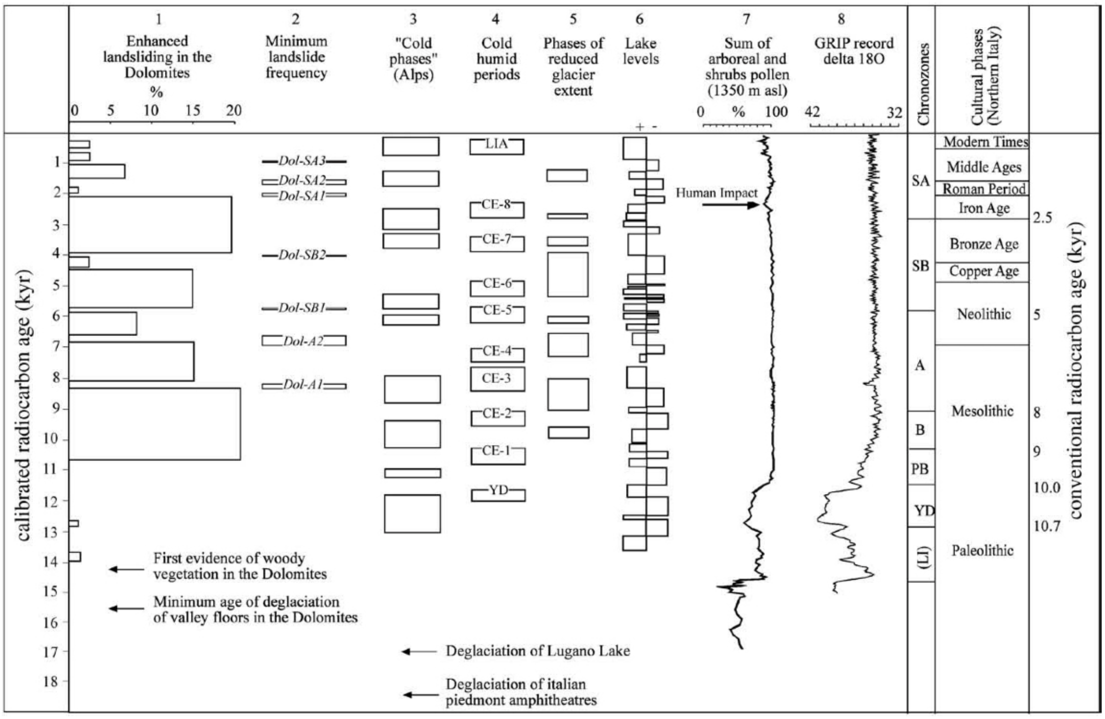
Μελετώντας την κατολισθητική δραστηριότητα κατά το Ολόκαινο σε αντιπαραβολή με αναγνωρισμένες περιόδους αυξημένης υγρασίας στην περιοχή των Άλπεων διαπιστώνουν καλή συσχέτιση μεταξύ των περιόδων αυξημένης κατολισθητικής δραστηριότητας και αυτών με αυξημένη υγρασία. Αυτό κατά τους Borgatti και Soldati (in press) δείχνει ότι οι φάσεις αυξημένης κατολισθητικής δραστηριότητας σχετίζονται με τις υγρές περιόδους.



Σχήμα 8. Αντιπαραβολή της κατολισθητικής δραστηριότητας των τελευταίων 11.000 ετών στο Ηνωμένο Βασίλειο (UK), την Ισπανία (ES), την Πολωνία (PL), την Ελβετία (CH) και την βόρεια Ιταλία ("Thisstudy") με κλιματικούς δείκτες βροχόπτωσης (prec.) και θερμοκρασίας (temp.) (Soldatietal 2004).

Επίσης οι Οι Borgatti και Soldati (in press) δείχνουν ότι οι περίοδοι στο παρελθόν με μικρή κατολισθητική δραστηριότητα συμπίπτουν με τις περιόδους κατά τις οποίες το κλίμα της γης ήταν ξηρό.

Σε σχέση με την προβλεπόμενη κλιματική αλλαγή οι Beniston και Douglas (1996) υποστηρίζουν ότι μια ενδεχόμενη αύξηση στη συχνότητα ακραίων γεγονότων βροχόπτωσης θα οδηγήσει σε συχνότερη αύξηση των υδραυλικών πιέσεων των πόρων στα πετρώματα. Το γεγονός αυτό με τη σειρά του θα οδηγήσει σε περισσότερα κατολισθητικά γεγονότα.



Σχήμα 9. Αντιπαραβολή περιόδων έντονης κατολισθητικής δραστηριότητας και περιόδων περιορισμένης κατολισθητικής δραστηριότητας με κλιματικούς δείκτες του Ολοκαίνου (Borgatti&Soldatti in press).

Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουν και άλλοι ερευνητές. Οι Buma και Dehn (1998), οι Dehn και Buma (1999), οι Dikau και Schrott (1999), οι Dehn et al (2000) και οι Borgatti και Soldati (in press) υποστηρίζουν ότι η κλιματική αλλαγή και συγκεκριμένα οι προβλεπόμενες αλλαγές στη συχνότητα και το μέγεθος των ακραίων γεγονότων θα μπορούσε να επηρεάσει τη συχνότητα της εκδήλωσης κατολισθήσεων.

Σε σχέση με την προβλεπόμενη κλιματική αλλαγή, έχουν χρησιμοποιηθεί μοντέλα και μεθοδολογίες οι οποίες μπορούν έχοντας ως δεδομένο εισόδου την διαφοροποίηση μιας παραμέτρου της βροχόπτωσης να εκτιμήσουν την επιφερόμενη αλλαγή στο καθεστώς των κατολισθήσεων. Στον τομέα αυτό, οι Buma και Dehn (2000) συνδέουν την εκδήλωση κατολισθήσεων με την κλιματική αλλαγή μελετώντας μια κατολίσθηση στη Νότια Γαλλία. Στην περίπτωση αυτή διαπιστώνουν μια μικρή μείωση στο ρυθμό εκδήλωσης κατολισθήσεων στο μέλλον.

Σε ότι αφορά τα φαινόμενα κατολισθήσεων και κίνησης εδαφικών μαζών οι Dehn και Buma (1999) ισχυρίζονται ότι μια αλλαγή στο καθεστώς της βροχόπτωσης μπορεί να αλλάξει σημαντικά την συχνότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων παγκοσμίως.

Επίσης οι Schmidt και Dehn (2000) και οι Malet et al (2007) συμπεραίνουν πως πιθανές αλλαγές στις κλιματικές παραμέτρους θα οδηγήσουν σε διαφορετικό καθεστώς στην κατολισθητική δραστηριότητα.

Κατά τους Rumsby και Macklin (1994) διαφοροποιήσεις στο υδατικό ισοζύγιο επηρεάζουν γεωμορφικές διεργασίες όπως η διάβρωση, όλα τα είδη των κατολισθήσεων και η μεταφορά ιζημάτων.

Οι Collison et al (2000) συνδέουν την εκδήλωση κατολισθήσεων με την κλιματική αλλαγή μελετώντας μια περιοχή στην νοτιοανατολική Αγγλία. Τα αποτελέσματα της έρευνας τους δείχνουν ότι η προβλεπόμενη αύξηση στις βροχοπτώσεις θα συνοδευτεί από αντίστοιχη αύξηση στην εξατμισοδιαπνοή και έτσι η συχνότητα των μεγάλων κατολισθήσεων θα παραμείνει στα ίδια επίπεδα. Επιπρόσθετα τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας δείχνουν μια μικρή μείωση στις μικρότερου μεγέθους κατολισθήσεις.

Οι Jakob και Lambert (2009) μελετώντας τη σχέση κατολισθητικών φαινομένων και κλιματικών παραμέτρων υπολογίζουν τη αύξηση της κατολισθητικής δραστηριότητας βασιζόμενοι σε δεδομένα προγνωστικών κλιματικών μοντέλων.

Οι Borgatti και Soldati (in press) ισχυρίζονται ότι αλλαγές στην βροχόπτωση, την θερμοκρασία και την εξατμισοδιαπνοή θα επηρεάσουν απευθείας το υδρολογικό καθεστώς στις κλιτύες. Το καθεστώς αυτό θα επιδράσει στον τύπο, το ρυθμό και την χρονική και χωρική κατανομή των εδαφικών κινήσεων.

2.4 Όρια βροχοπτώσεων στην εκδήλωση κατολισθήσεων

Ο Lumb (1975) συνδέει την εκδήλωση κατολισθήσεων στην περιοχή του Hong Kong με συγκεκριμένα ποσά ημερήσιας βροχόπτωσης.

Ο Caine (1980) διαπιστώνει την εξάρτηση των κατολισθήσεων εδαφικών μαζών από την ένταση και τη διάρκεια της βροχόπτωσης και προτείνει ένα όριο (threshold) με τη γενική μορφή:

$$I = 14{,}82 \times D^{-0{,}39}$$

Οι Polemio και Sdao (1999) διαπιστώνουν την επιρροή της βροχόπτωσης στην εκδήλωση κατολισθήσεων ερευνώντας την ένταση των βροχοπτώσεων και τα γεγονότα κίνησης εδαφικών μαζών στην νότια Ιταλία.

Οι Guzzetti et al (2007) συνθέτουν μια βάση δεδομένων 2626 γεγονότων βροχόπτωσης που οδήγησαν σε κατολισθήσεις και λασπορροές σε όλο τον κόσμο. Βασιζόμενοι στα δεδομένα αυτά και εφαρμόζοντας τεχνικές στατιστικής οι Guzzetti et al (2007) πρότειναν ένα παγκόσμιο όριο (threshold) βελτιωμένο σε σχέση με αυτά των προηγούμενων ερευνητών.

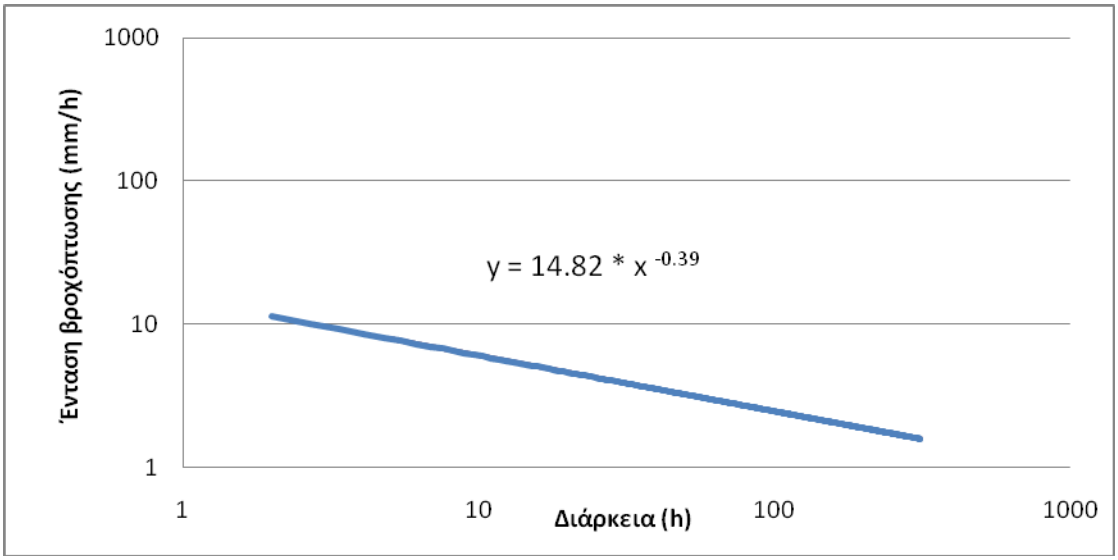
Πέρα από την θεωρητική διατύπωση υπάρχουν αρκετά συστήματα έγκαιρης ειδοποίησης σχετικά με κατολισθητικούς κινδύνους που βασίζονται στον προσδιορισμό ορίων βροχόπτωσης. Για παράδειγμα στο Hong Kong, San Franscisco, Rio De Janeiro, Nagasaki, Italy, Seattle and California.

2.4.1 Όρια βροχόπτωσης για κατολισθήσεις παγκοσμίως

Ο Caine (1980) πρότεινε πρώτος ένα κατώφλι έντασης βροχόπτωσης (rainfall threshold) πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένη πιθανότητα εκδήλωσης ρηχών κατολισθήσεων και λασπορροών. Το όριο αυτό δίνεται από τον τύπο

$$I = 14,82 \times D^{-0,39}$$

όπου D είναι η διάρκεια της βροχής σε ώρες και I η ένταση σε χιλιοστά ανά ώρα (mm/hr).



Σχήμα 10. Η μορφή του ορίου βροχόπτωσης (κατά Caine 1980) σε ένα διάγραμμα Έντασης - Διάρκειας

Ο Innes (1983) προτείνει για την έναρξη λασπορροών το όριο που δίνεται από τον τύπο :

$$I = 4.93 \times D^{-0.50}$$

Οι Clarizia et al. (1996) προτείνουν το όριο I = 10 × D−0.77 για περιπτώσεις ρηχών κατολισθήσεων.

Οι Crosta and Frattini (2001) προτείνουν το κατώφλι έντασης βροχόπτωσης που δίνεται από τον τύπο:

$$I = 0.48 + 7.2 \times D^{-1.00}$$

σχετικά με την έναρξη ρηχών κατολισθήσεων

Οι Cannon and Gartner (2005) προτείνουν ένα ενιαίο κατώφλι έντασης βροχόπτωσης για όλο τον κόσμο, που δίνεται από τον τύπο

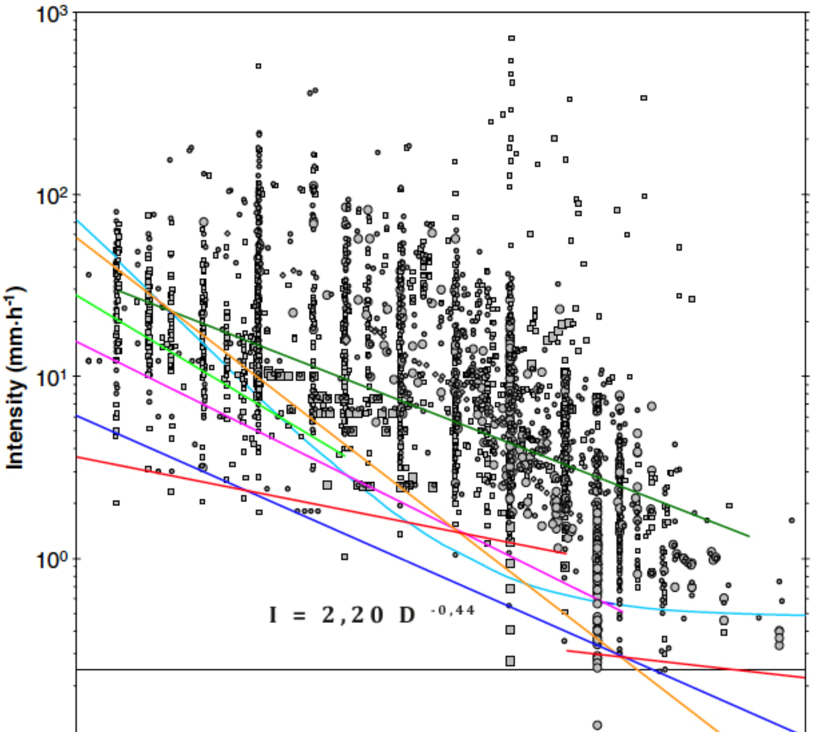
$$I = 7.00 \times D^{-0.60}$$

Και αφορά σε λασπορροές σε καμένες εκτάσεις.

Οι Guzetti et al (2008) χρησιμοποιώντας δεδομένα από διάφορες περιοχές, προτείνουν ένα παγκόσμιο κατώφλι έντασης βροχόπτωσης. Το όριο αυτό δίνεται από τον τύπο:

$$I = 2,20\ D^{-0,44}$$

όπου D είναι η διάρκεια της βροχής σε ώρες και I η ένταση σε χιλιοστά ανά ώρα (mm/hr).



Σχήμα 11. Διάγραμμα που απεικονίζει τη μορφή διαφόρων ορίων βροχόπτωσης για κατολισθήσεις που στηρίζονται σε δεδομένα από όλο τον κόσμο. Τα σημεία που παρουσιάζονται στο διάγραμμα αναπαριστούν καταιγίδες συγκεκριμένης έντασης και διάρκειας που έχουν προκαλέσει κατολισθήσεις. (Guzetti et al 2008).

Κατά τους Guzzetti et al (2008) η χρήση καμπυλών παγκόσμιας ή ακόμα και περιοχικής εμβέλειας είναι δυνατόν να οδηγήσει ορισμένες φορές σε ανακολουθίες. Υπάρχει δηλαδή η πιθανότητα να εκδηλωθούν γεγονότα βροχόπτωσης τα οποία να εμπίπτουν σε συνθήκες που ξεπερνάν τα όρια αλλά να μην προκύψουν κατολισθητικά φαινόμενα. Αυτό συμβαίνει λόγω των εξαιρετικά συντηρητικών εκτιμήσεων των παγκόσμιων ορίων.

2.4.2 Όρια βροχόπτωσης για κατολισθήσεις για το χώρο της Μεσογείου

Αν και η συσχέτιση βροχοπτώσεων και φαινομένων κίνησης εδαφικών μαζών έχει πιστοποιηθεί στην Ελλάδα (Koukis et al 1997b, Anagnostopoulos & Georgiadis 1997, Koukis et al 1997a, Κούκης & Ζιούρκας 1989, Sabatakakis et al 2005), έχει μέχρι στιγμής λάβει μόνο ποιοτικό χαρακτήρα.

Μέχρι σήμερα είναι πολύ λίγες οι περιπτώσεις που έχει γίνει συστηματική μελέτη των ποσοτικών χαρακτηριστικών της βροχής σε σχέση με την εκδήλωση κατολισθήσεων.

Οι Anagnostopoulos και Georgiadis (1997) μελετώντας βροχοπτώσεις 40 ετών σε αντιπαραβολή με το αρχείο κατολισθήσεων στην περιοχή της Πιερίας, διαπιστώνουν ότι η πιθανότητα εκδήλωσης κατολίσθησης αυξάνει σημαντικά πάνω από ένα όριο βροχόπτωσης. Στη μελέτη τους αυτή προσδιορίζουν το όριο αυτό στα 600mm συνολικού ύψους βροχόπτωσης από το Σεπτέμβρη έως τον Μάρτη ενός έτους.

Στο πεδίο των ορίων που συσχετίζουν την ένταση της βροχόπτωσης με τη διάρκεια, οι Guzzetti et al (2008) προτείνουν για το Μεσογειακό χώρο το όριο που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$I = 4.81 \times D^{-0.49}$$

Για όλους τους τύπους κατολισθήσεων οι Calcaterra et al. (2000) προτείνουν για την ευρύτερη περιοχή της Καμπανίας το όριο που δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$I = 28{,}10 \times D^{-0.74}$$

Από το μεγάλο αριθμό τέτοιων ορίων, το όριο των Calcaterra et al. (2000) είναι εκείνο που αφορά περισσότερο των Ελληνικό χώρο καθώς η περιοχή στην οποία εφαρμόζεται είναι η πιο κοντινή και με παρόμοιο κλιματικά χαρακτηριστικά σε σχέση με αυτές στις οποίες αναφέρονται άλλα όρια.

2.5 Δεδομένα και Μεθοδολογία

Το καθεστώς κατολισθητικής επικινδυνότητας μπορεί να εκφραστεί ως η πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων σε μια τυχαία χρονική στιγμή. Με τη σειρά του το μέγεθος αυτό μπορεί να αποδοθεί ως η πιθανότητα υπέρβασης του ορίου της έντασης της βροχόπτωσης πέρα από το οποίο προκαλούνται κατολισθήσεις.

Αυτό σημαίνει ότι το καθεστώς κατολισθητικής επικινδυνότητας μπορεί να εκφραστεί ως η πιθανότητα υπέρβασης των ορίων της βροχόπτωσης πέρα από τα οποία προκύπτουν κατολισθήσεις.

Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται η πιθανότητα αυτή στην περίοδο ελέγχου (1990-1999) και στις περιόδους για τις οποίες διερευνάται το νέο καθεστώς επικινδυνότητας (2040-2049 και 2090-2099).

Τα κλιματικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψαν από την εφαρμογή του προγνωστικού μοντέλου γενικής κυκλοφορίας (GCM) ECHAM5 για το σενάριο A1B. Το κλιματικό μέγεθος το οποίο αναλύθηκε ήταν οι εντάσεις βροχόπτωσης τριών(3) ωρών για τις δεκαετίες 1990-1999 (περίοδος ελέγχου), 2040-2049 και 2090-2099. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από την εφαρμογή του προγνωστικού μοντέλου HadCM3 για τα σενάρια A2 και B2 και έγινε σύγκριση των περιόδων 1960-1990 με την 2070-2010 και για τα δύο σενάρια.

Στη διαδικασία αυτή υπολογίσθηκε η πιθανότητα υπέρβασης των ορίων που δίνονται από τις εξισώσεις Caine (1980) και Calcaterra et al (2000) (όπως αναφέρονται στο κεφάλαιο 2.4) σε κάθε μία από τις δεκαετίες. Έτσι η διαφορά της πιθανότητας υπέρβασης των ορίων μεταξύ των δεκαετιών αντιστοιχεί ουσιαστικά στην διαφοροποίηση του καθεστώτος επικινδυνότητας. Η διαδικασία αυτή έγινε σε πλέγμα 0,55^{o} X 0,55^{o} με περίπου 160 κελιά που συγκροτούν το χερσαίο τμήμα του Ελληνικού χώρου.

Τα τελικά αποτελέσματα προέκυψαν από τον υπολογισμό της διαφοράς επί τοις εκατό στην πιθανότητα υπέρβασης των ορίων της βροχόπτωσης τριών (3) ωρών, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση.

$$\Delta P\ (\%) = (\,P\tau\varepsilon\lambda - P\alpha\rho\chi) / P\alpha\rho\chi \times 100\%$$

Η διαδικασία αυτή έγινε για κάθε κελί του πλέγματος. Οι πιθανότητες υπολογίσθηκαν με βάση τις χρονοσειρές βροχόπτωσης τριών ωρών που προέκυψαν από το προγνωστικό μοντέλο.

2.6 Αποτελέσματα

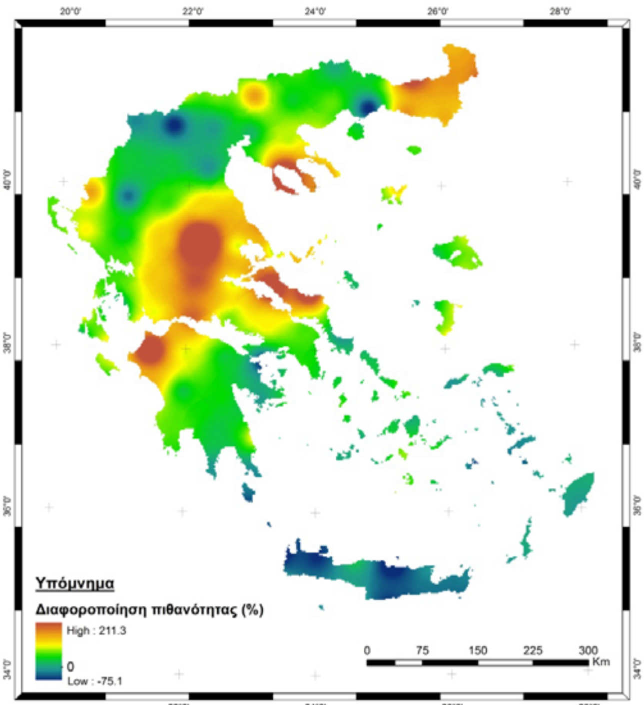
Με βάση τη μεταβολή της πιθανότητας υπέρβασης των ορίων της βροχόπτωσης συντάχθηκαν οι παρακάτω χάρτες (Σχήματα 12, 13, 14 και 15). Οι χάρτες αυτοί δείχνουν τη μεταβολή της πιθανότητας υπέρβασης του ορίου της βροχόπτωσης μεταξύ της περιόδου ελέγχου (1990-1999) και των δεκαετιών 2040-2049 και 2090-2099 (ECHAM5 σενάριο A1B).

Σε όλες τις περιπτώσεις παρουσιάζονται σημαντικές τοπικές μειώσεις και αυξήσεις στην πιθανότητα υπέρβασης από -81% περίπου έως και +270%. Οι μέγιστες αυτές αλλαγές της πιθανότητας υπέρβασης απαντούν σε ορισμένες μεμονωμένες περιπτώσεις και είναι αντίστοιχες σε εύρος με εκείνες με αυτές που προκύπτουν και από τα υπόλοιπα μοντέλα (Frei et al. 2006).

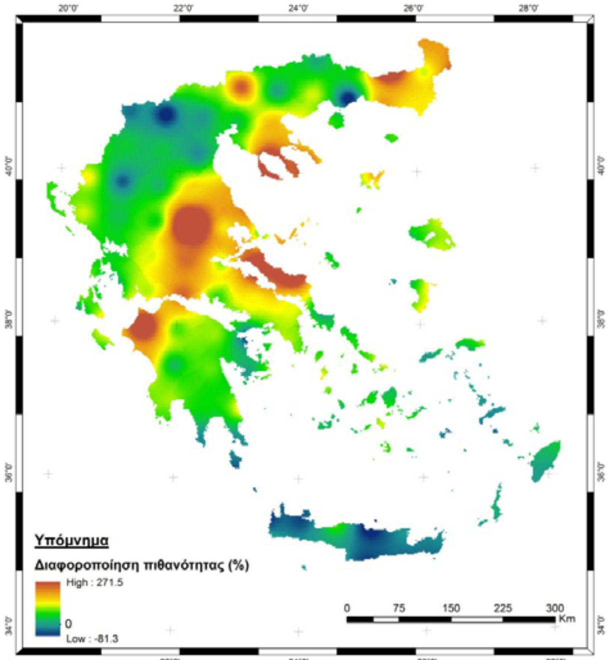
Οι μεταβολές που προκύπτουν είναι διαφορετικά κατανεμημένες μεταξύ των περιόδων 2040-2049 και 2090-2099. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο μοτίβο αύξησης της βροχόπτωσης που προκύπτει από το προγνωστικό μοντέλο γενικής κυκλοφορίας ECHAM5 και το σενάριο A1B.

Σε ότι αφορά την χωρική κατανομή των προβλεπόμενων αλλαγών παρατηρεί κανείς ότι για τη δεκαετία 2040-2049 οι μεγαλύτερες αυξήσεις παρατηρούνται στην βορειοδυτική Πελοπόννησο στην κεντρική Ελλάδα, τη βόρεια και κεντρική Εύβοια, τη Χαλκιδική και τη Θράκη. Αντιθέτως για το ίδιο διάστημα παρατηρείται μείωση της πιθανότητας στην Κρήτη, τα Δωδεκάνησα και την δυτική Μακεδονία.

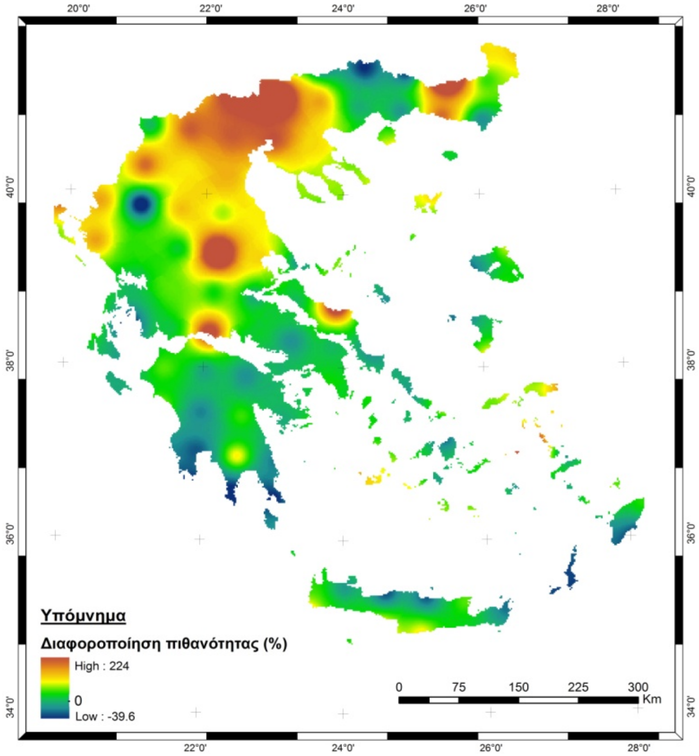
Για την δεκαετία 2090-2099 παρατηρείται αύξηση στη δυτική Μακεδονία, κάποια τμήματα της Θράκης, την κεντρική Ελλάδα, στην κεντρική Εύβοια και τοπικά γύρω από τον Κορινθιακό κόλπο. Αντίθετα μειώσεις παρατηρούνται κυρίως στη νότια Πελοπόννησο, τα Δωδεκάνησα και τοπικά στην ανατολική Μακεδονία.



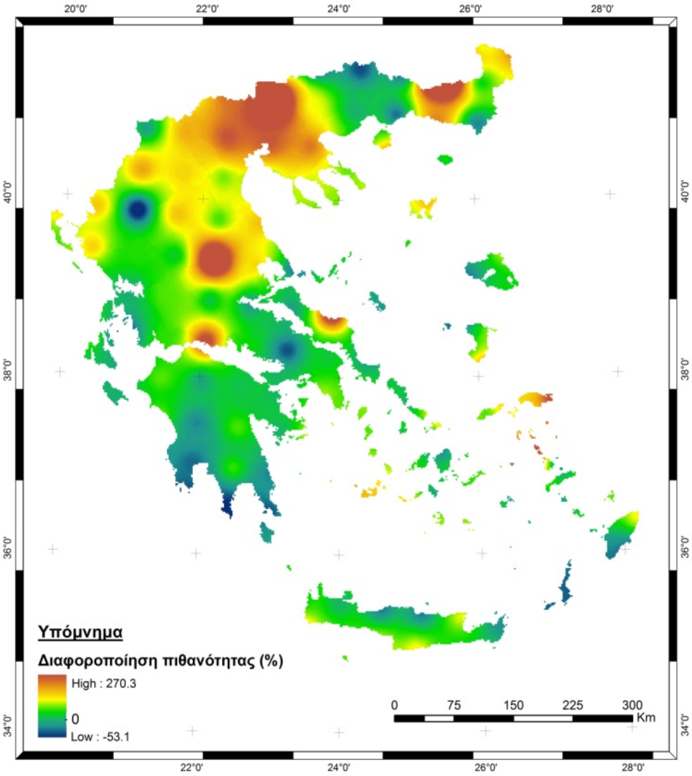
Σχήμα 12. Υπολογιζόμενη μεταβολή της πιθανότητας υπέρβασης του παγκοσμίου ορίου βροχόπτωσης σχετικά με την εκδήλωση κατολισθήσεων σύμφωνα με το σενάριο A1B. Τα αποτελέσματα αναφέρονται στη διαφορά μεταξύ των δεκαετιών 1990-1999 και 2040-2049.



Σχήμα 13. Υπολογιζόμενη μεταβολή της πιθανότητας υπέρβασης του τοπικού Μεσογειακού ορίου βροχόπτωσης σχετικά με την εκδήλωση κατολισθήσεων σύμφωνα με το σενάριο A1B. Τα αποτελέσματα αφορούν τη διαφορά μεταξύ των δεκαετιών 1990-1999 και 2040-2049.

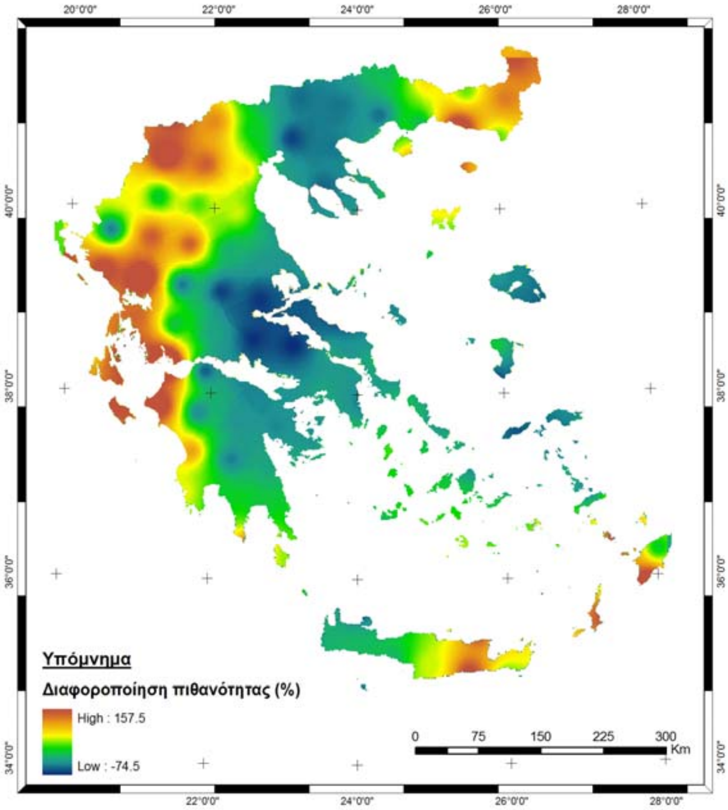


Σχήμα 14. Υπολογιζόμενη μεταβολή της πιθανότητας υπέρβασης του παγκόσμιου ορίου βροχόπτωσης σχετικά με την εκδήλωση κατολισθήσεων σύμφωνα με το σενάριο A1B. Τα αποτελέσματα αφορούν τη διαφορά μεταξύ των δεκαετιών 1990-2000 και 2090-2099.

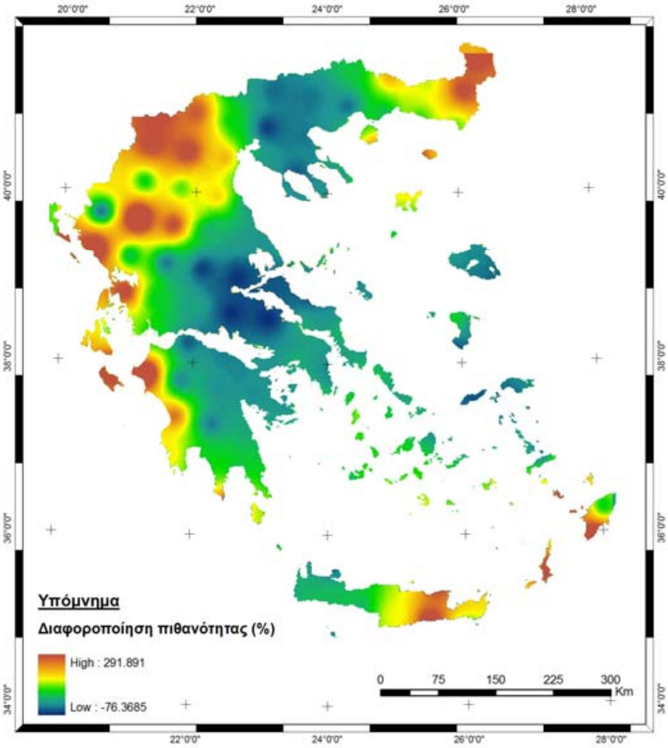


Σχήμα 15. Υπολογιζόμενη μεταβολή της πιθανότητας υπέρβασης του τοπικού Μεσογειακού ορίου βροχόπτωσης σχετικά με την εκδήλωση κατολισθήσεων σύμφωνα με το σενάριο Α1Β. Τα αποτελέσματα αφορούν τη διαφορά μεταξύ των δεκαετιών 1990-1999 και 2090-2099.

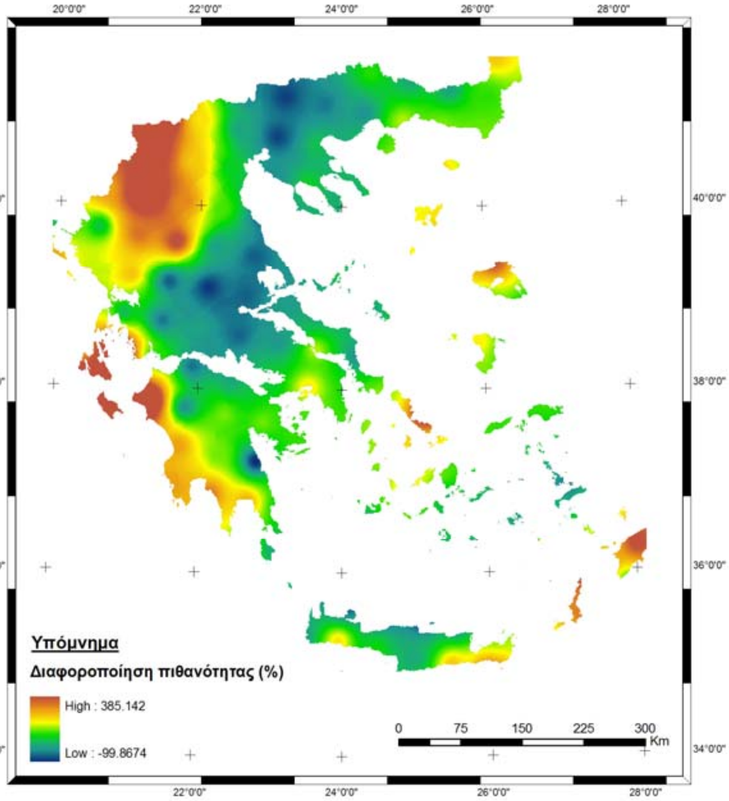
Σε ότι αφορά το μοντέλο HadCM3 και τα σενάρια Α2 και Β2 παρατηρούνται διαφοροποιήσεις αντίστοιχου εύρους. Βάσει της ανάλυσης που έγινε για το Α2 διαπιστώθηκε αύξηση της πιθανότητας υπέρβασης του ορίου στην δυτική Ελλάδα, τα Ιόνια νησιά, τη δυτική Πελοπόννησο, την ανατολική Κρήτη και τμήματα της ανατολικής Θράκης. Αντίθετα μείωση παρατηρείται στην κεντρική Μακεδονία, τμήματα της Θεσσαλίας, την ανατολική Στερεά και τα νησιά του Βόρειου Αιγαίου (Σχήματα 16 & 17). Αντίστοιχα, για το σενάριο Β2 του HadCM3 παρατηρείται αύξηση στην δυτική Ελλάδα και δυτική Πελοπόννησο, τα Ιόνια νησιά και τμήματα της ανατολικής Κρήτης και των Δωδεκανήσων. Μείωση παρατηρείται στα νησιά του κεντρικού και νότιου Αιγαίου, τη Φθιώτιδα, την ανατολική Στερεά, την ανατολική Πελοπόννησο και την Κεντρική Μακεδονία (Σχήματα 18 & 19).



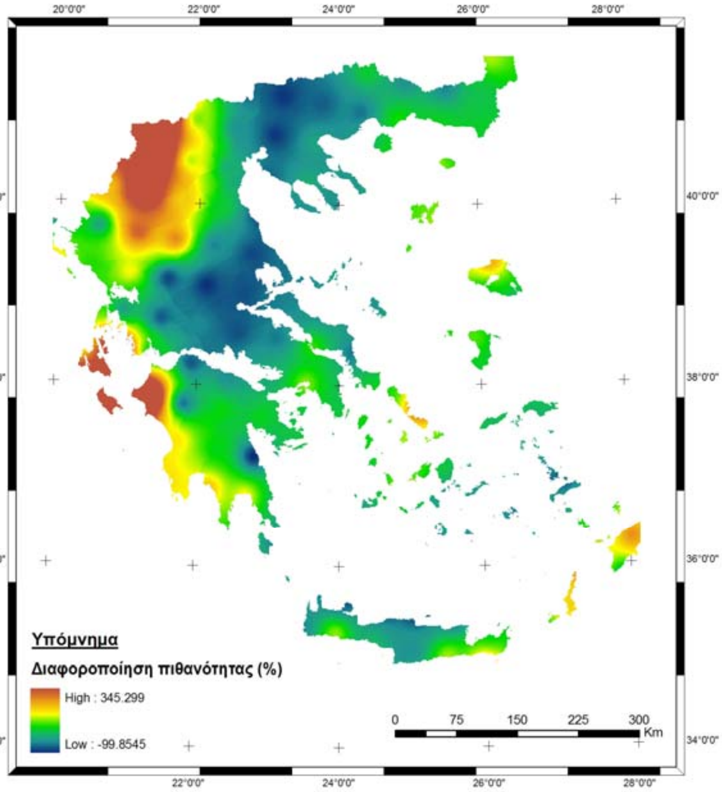
Σχήμα 16. Υπολογιζόμενη μεταβολή της πιθανότητας υπέρβασης του παγκόσμιου ορίου βροχόπτωσης σχετικά με την εκδήλωση κατολισθήσεων σύμφωνα με το σενάριο Α2. Τα αποτελέσματα αφορούν τη διαφορά μεταξύ των δεκαετιών 1960-1990 και 2070-2100.



Σχήμα 17. Υπολογιζόμενη μεταβολή της πιθανότητας υπέρβασης του τοπικού Μεσογειακού ορίου βροχόπτωσης σχετικά με την εκδήλωση κατολισθήσεων σύμφωνα με το σενάριο Α2. Τα αποτελέσματα αφορούν τη διαφορά μεταξύ των δεκαετιών 1960-1990 και 2070-2100.



Σχήμα 18. Υπολογιζόμενη μεταβολή της πιθανότητας υπέρβασης του παγκόσμιου ορίου βροχόπτωσης σχετικά με την εκδήλωση κατολισθήσεων σύμφωνα με το σενάριο Β2. Τα αποτελέσματα αφορούν τη διαφορά μεταξύ των δεκαετιών 1960-1990 και 2070-2100.



Σχήμα 19. Υπολογιζόμενη μεταβολή της πιθανότητας υπέρβασης του τοπικού Μεσογειακού ορίου βροχόπτωσης σχετικά με την εκδήλωση κατολισθήσεων σύμφωνα με το σενάριο Β2. Τα αποτελέσματα αφορούν τη διαφορά μεταξύ των δεκαετιών 1960-1990 και 2070-2100.

2.7 Συμπεράσματα

Παρά την ενδογενή πολυπλοκότητα των κατολισθητικών φαινομένων υπάρχει μια σημαντική και διακριτή συσχέτισή τους με το κλίμα. Η σχέση αυτή έχει μέχρι σήμερα εκφραστεί επιτυχημένα ως συνάρτηση της έντασης και της διάρκειας της βροχόπτωσης. Χρησιμοποιώντας, λοιπόν, τη μεθοδολογία και εξετάζοντας δύο τέτοιες περιπτώσεις συσχέτισης (μία παγκόσμιας εμβέλειας και μία Μεσογειακής) προέκυψαν διαφοροποιήσεις στο πιθανοτικό καθεστώς εκδήλωσης κατολισθήσεων.

Σε αντίθεση με τις σημαντικού εύρους τοπικές διαφοροποιήσεις, προκύπτει οριακή αύξηση της μέσης πιθανότητας εκδήλωσης κατολισθήσεων σε όλη την επικράτεια για την περίοδο 2040-2049 (Πίνακας 5) όπως αυτή εκφράζεται από το σενάριο Α1Β που είναι το μόνο που από τα διαθέσιμα που εξετάζει αυτή την περιοδο.

Σε ότι αφορά την περίοδο 2090-2099 (για το σενάριο Α1Β) προκύπτει πιο ευρεία μεταβολή στη μέση πιθανότητα.

Σε ότι αφορά τα αποτελέσματα των στοιχείων που προήλθαν από το μοντέλο HadCM3 και τα σενάρια Α2 και Β2, και τα οποία αναφέρονται στην περίοδο 2070-

2100 προκύπτει και εδώ (σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του σεναρίου A1B) ευρεία μεταβολή στη μέση πιθανότητα υπέρβασης των ορίων βροχόπτωσης.

Στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακας 5 & 6) παρουσιάζονται οι μέσοι όροι πιθανότητας υπέρβασης των ορίων βροχόπτωσης πέρα από τα οποία είναι πιθανό να προκύψουν κατολισθητικά φαινόμενα για τις περιόδους 2040-2049, 2090-2099 (σενάριο A1B) και 2070-2100 (σενάρια A2 και B2).

Πίνακας 5. Μεταβολές στη μέση πιθανότητα υπέρβασης των ορίων της βροχόπτωσης που οδηγούν σε κατολισθήσεις βάσει των τιμών που προκύπτουν από την ανάλυση του μοντέλου ECHAM5 για το σενάριο A1B. Στον πίνακα παρουσιάζονται επίσης οι μεταβολές των πιθανοτήτων επί τοις εκατό.

Περίοδος	1990-1999	2040-2049	2090-2099
Σενάριο		A1B	A1B
Παγκόσμιο όριο (threshold)	0,249	0,252 (+1.2%)	0,322 (+29.3%)
Μεσογειακό όριο (threshold)	0,16	0,165 (+3.13%)	0,214 (+33.7%)

Πίνακας 6. Μεταβολές στη μέση πιθανότητα υπέρβασης των ορίων της βροχόπτωσης που οδηγούν σε κατολισθήσεις βάσει των τιμών που προκύπτουν από την ανάλυση του μοντέλου HadCM3 για τα σενάρια A2 και B2. Στον πίνακα παρουσιάζονται επίσης οι μεταβολές των πιθανοτήτων επί τοις εκατό.

Περίοδος	1960-1990	2070-2100	
Σενάριο		A2	B2
Παγκόσμιο όριο (threshold)	0,011	0,015 (+38.4%)	0,012 (+10.6%)
Μεσογειακό όριο (threshold)	0,007	0,010 (+44.6%)	0,008 (+11.9%)

Από τα αποτελέσματα διαφαίνεται οτι οι σημαντικότερες αλλαγές προκύπτουν στα αποτελέσματα που αφορούν δεκαετίες προς το τέλος του αιώνα. Οι αλλαγές αυτές κυμαίνονται μεταξύ +10% - +45% επί της πιθανότητας υπέρβασης του ορίου βροχόπτωσης, πέρα από το οποίο προκύπτουν κατολισθήσεις, ανάλογα βέβαια με το μοντέλο στο οποίο βασίζονται οι υπολογισμοί.

Οι ευρείες μεταβολές που καταγράφονται στις περιόδους 2070-2100 και 2090-2099 θα πρέπει όμως να αντιμετωπίζονται με επιφύλαξη καθώς θα πρέπει να συνυπολογισθεί η αυξημένη αβεβαιότητα που συνοδεύει τις προγνώσεις των κλιματικών μοντέλων και τα δεδομένα εισόδου τους. Αντίθετα τη δεκαετία 2040-2049 οι αυξήσεις που προκύπτουν στην πιθανότητα υπέρβασης των ορίων είναι κατά μέσο όρο οριακές και επομένως δεν στοιχειοθετούν σημαντική μεταβολή στο καθεστώς επικινδυνότητας των κατολισθήσεων .

Επιπρόσθετα παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ της κατανομής των μεταβολών μεταξύ των δεκαετιών 2040-2049, 2090-2099 και 2070-2100. Οι διαφορές αυτές προκύπτουν λόγο του διαφορετικού μοτίβου μεταβολής των βροχοπτώσεων όπως αυτές προκύπτουν από τα αποτελέσματα των μοντέλων ECHAM5 και HadCM3.

Οι υπολογισμοί αυτοί είναι σημαντικό να αντιμετωπισθούν με επιφύλαξη καθώς το τα διαστήματα των 10 και 30 ετών αντίστοιχα που ήταν διαθέσιμα είναι οριακά επαρκή για την παρούσα ανάλυση. Παρότι θεωρείται ότι αποδίδει ορθά το πρόσημο της αλλαγής, εντούτοις, κρίνεται ότι ο επαναϋπολογισμός των πιθανοτήτων στο μέλλον χρησιμοποιώντας μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα θα βοηθούσε στην ακριβέστερη πρόβλεψη των τιμών αυτών.

Παρόλα αυτά οι μέγιστες τιμές που προκύπτουν είναι παρόμοιες με αυτές στις οποίες καταλήγουν ερευνητές όπως οι Frei et al. (2006). Το δε φάσμα των τιμών τόσο στην παρούσα μελέτη όσο και σε άλλες από τις οποίες προκύπτουν αντίστοιχα εύρη (Huntingford et al., 2003; Barnett et al., 2006; Frei et al., 2006) δείχνουν την αβεβαιότητα που υπάρχει στην πρόβλεψη ακραίων τιμών.

Η ακριβής πρόγνωση της τάσης των κατολισθητικών φαινομένων δυσχεραίνεται λόγω και των πολλαπλών παραγόντων που συμμετέχουν στις διεργασίες εδαφικών κινήσεων. Για παράδειγμα η αλλαγή στις χρήσεις γης και η διαφοροποιήσεις στο είδος και την έκταση της βλάστησης που προβλέπονται στη Μεσόγειο αναμένεται να αποτελέσουν καθοριστικό παράγοντα στο καθεστώς εκδήλωσης των κατολισθήσεων (Alcamo et al. 2007).

2.8 Βιβλιογραφία

AlcamoJ, J.M. Moreno, B. Nováky, M. Bindi, R. Corobov, R.J.N. Devoy, C. Giannakopoulos, E. Martin, J.E. Olesen, A. Shvidenko, 2007: Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-580

Aleotti P (2004) A warning system for rainfall-induced shallow failures. Eng Geol 73: 247–265

Anagnostopoulos, C., Georgiadis, M., 1997. Analysis of rainfall data and correlation to landslides: The case of Sykia – Pieria, Greece.

Ayalew L (1999) The effect of seasonal rainfall on landslides in the highlands of Ethiopia. Bull Eng Geol Env 58: 9–19

Bacchini M, Zannoni A (2003) Relations between rainfall and triggering of debris-flow: a case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy). Nat Hazard Earth Sys 3: 71–79

Barnett, D.N., et al., 2006: Quantifying uncertainty in changes in extreme event frequency in response to doubled CO2 using a large ensemble of GCM simulations. Clim. Dyn., 26, 489–511.

Baum RL, Godt JW, Harp EL, McKenna JP (2005) Early warning of landslides for rail traffic between Seattle and Everett, Washington. In: Landslide Risk Management, Proceedings of the 2005 International Conference on Landslide Risk Management (Hungr O, Fell R, Couture R, Ebdrhardt E, eds). New York: A.A. Balkema, 731–740.

Beniston, M., Douglas, G., F., (1996) Impacts of climate change onmountain regions. In: Watson, R., T., Zinyowera, M., C., Moss RH,Dokken, D., J., (eds) Climate change 1995. impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analysis. Cambridge University Press, Cambridge, pp 191–213

Borgatti L, Soldati, M., (in press) Landslides as a geomorphological proxy for climate change: A record from the Dolomites (northern Italy).

Buma, J., Dehn, M., 1998.A method for predicting the impact of climate change on slope stability. Environmental Geology 35, 190–196.

Buma, J., Dehn, M., 2000.Impact of climate change on a landslide in South East France, simulated using different GCM scenarios and downscaling methods for local precipitation. Climate Research, Vol. 15: 69–81.

Caine N, 1980. Rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. Geograf. Ann. 62A, 23-27.

Cannon SH (1988) Regional rainfall-threshold conditions for abundant debris-flow activity. In: Landslides, Floods, and Marine Effects of the Etorm of January 3-5, 1982, in the San Francisco Bay Region, California (Ellen SD, Wieczorek GF, eds). US Geological Survey Professional Paper 1434, 35–42

Cannon SH, Gartner JE (2005) Wildfire-related debris flow from a hazards perspective. In: Debris flow Hazards and Related Phenomena (Jakob M, Hungr O, eds). Springer Berlin Heidelberg, 363–385

Canuti, P., Focardi, P., Garzonio, C., A., 1985. Correlation between rainfall and landslides. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Vol., 32, pp. 49-50

Clarizia M, Gullà G, Sorbino G (1996) Sui meccanismi di innesco dei soil slip. International conference Prevention of hydrogeological hazards: the role of scientific research. 1:585–597, (in Italian)

Collison, A., Wade, S., Griffiths, J., Dehn, M., 2000. Modelling the impact of predicted climate change on landslide frequency and magnitude in SE England. Engineering Geology, 55, 205–218.

Corominas J, Moya J (1996) Historical landslides in the Eastern Pyrenees and their relation to rainy events. In: Landslides (Chacon J, Irigaray C, Fernandez T, eds). Rotterdam: A.A. Balkema, 125-132

Crozier, M., J., 1986. Landslides: causes, consequences & environment. Croom Helm, London, 252pp.

Dehn, M., Buma, J., 1999.Modelling future landslide activity based on general circulation models. Geomorphology, 30, 175-187.

Dehn, M., Burger, G., Buma, J., Gasparetto, P., 2000. Impact of climate change on slope stability using expanded downscaling. Engineering Geology 55 (3), 193–204.

Dikau, R., Schrott, L., 1999. The temporal stability and activity of landslides in Europe with respect to climatic change (TESLEC): main objectives and results. Geomorphology 30, 1-12

Frei, C., et al., 2006: Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. J. Geophys. Res., 111, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.

Guzzetti F, Peruccacci S, Rossi M, Stark CP (2007) Rainfall threholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. Meteorology and Atmospheric Physics 98: 239-267

Guzzetti F, Peruccacci S, Rossi M, Stark CP (2008) The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. Landslides 5: 3-17

Huntingford, C., et al., 2003: Regional climate-model predictions of extreme rainfall for a changing climate. Q. J. R.. Meteorol. Soc., 129, 1607–1621.

Innes JL (1983) Debris flows. Prog Phys Geogr 7:469–501

Iverson R., M., 2000. Landslide triggering by rain infiltration. Water Resources Research, Vol. 36, n. 7. Pp. 1897-1910.

Jakob, M., Lambert, S., 2009. Climate change effects on landslides along the southwest coast of British Columbia. Geomorphology 107, 275-284.

Koukis, G., Rozos, D., Hadzinakos, I., 1997a. Relationship between rainfall and landslides in the formations of Achaia County, Greece.

Koukis, G., Sabatakakis, N., Nikolau, N., Loupasakis, C., 2005. Landslide Hazard Zonation in Greece. In Kyoji Sassa, Hiroshi Fukuoka, Fawu Wang and Gonghui Wang (eds.) Landslides Risk Analysis and Sustainable Disaster Management. Springer: Berlin Heidelberg

Koukis, G., Tsiambaos, G., Sabatakakis, N., 1994. Slope movements in the Greek territory: A statistical approach, 7th International IAEG Congress, Balkema, Rotterdam

Koukis, G., Tsiambaos, G., Sabatakakis, N., 1997β. Landslide movements in Greece: Engineering geological characteristics and environmental consequences, In: Marinos, Koukis, Tsiambaos & Stournaras (Eds.) Engineering Geology and the Environment, 1997, Balkema, Rotterdam.

Lumb P, 1975. Slope failure in Hong Kong. Q. J. Eng. Geol. 8, 31-65.

Malet, J.-P., Durand, Y., Remaitre, A., Maquaire, O., Etchevers, P., Guyomarch'h, G., Déqué, M., van Beek, L.P.H. 2007. Assessing the influence of climate change on the activity of landslides in the Ubaye Valley. In: McInnes, R. and Fairbank, H. (Eds.): Proceedings International Conference on Landslides and Climate change - Challenges and Solutions, Wiley, London.

Monroe, J., S., Wicander, R., 2001.The changing earth. Exlporing geology and evolution. 3rd Ed. Pacific Grove: Brooks / Cole.

Montgomery, C., W., 2000. Environmental geology. 5th Ed. Boston: McGraw-Hill Publishers.

Polemio M, Sdao F, 1999. The role of rainfall in the landslide hazard: The case of the Avigliano urban area (Southern Apernnines, Italy). Engineering geology 53, 297-309.

Sabatakakis, N., Koukis, G., Mourtas, D., 2005. Composite landslides induced by heavy rainfalls in suburban areas: City of Patras and surrounding area, western Greece. Landslides 2: p. 202-211.

Schmidt, M., Dehn, M., 2000. Examining links between climate change and landslide activity using GCMs: case studies from Italy and New Zealand. In: McLaren, S., J., and Kniveton, D., R., (eds), Linking Climate Change to Land Surface Change, Kluwer Academic Publishers, 123-141.

Sidle, R., C., Ochiai, H., 2006. Landslides: processes, prediction and land use. Water Resources Monograph, 18, American Geophysical Union, Washington DC.

Skinner, B., J., Porter, S., C., 2000. The dynamic earth. An introduction to physical geology. 4th Ed. New York: John Wiley & Sons.

Soldati, M., Corsini, A., Pasuto, A., 2004.Landslides and climate change in the Italian Dolomites since the Late glacial. Catena 55, 141-161.

Trauth, M., H., Bookhagen, B., Marwan, N., Strecker, M., R., 2003.Multiple landslide clusters record Quaternary climate changes in the northwestern Argentine Andes. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 194, 109-121.

van Beek, L., P., H., 2002.The effect of land use and climatic change on slope stability in the Alcoy region Spain.Thesis, (Ph.D.), Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht, Utrecht, 363pp.

Wieczorek G., F., 1996. Landslide triggering mechanisms Im: Landslides: investigation and mitigation, Turner, A., K., Schuster, S., L., (eds.). Washington DC: Transportation Research Board, National Research Council, special report, pp. 76-90.

Wieczorek, G., F., Glade, T., 2005. Climatic factors influencing occurrence of debris flows. In: Debris flow hazards and related phenomena. Jakob M., Hungr, O. (eds.).Berlin: Heidelberg: Springer, pp. 325-362.

WP/WLI (1994) International Geotechnical Societies' UNESCO working party on world landslide inventory. Working group on landslide causes (Chairman: Popescu ME) A suggested method for reporting landslide causes. Bull IAEG 50:71–74

Ζιούρκας Κ., Κούκης. Γ., 1992. Ζωνοποίηση της επικινδυνότητας λόγω κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο και απεικόνιση της σε χάρτες μικρής και μέσης κλίμακας. Ορυκτός Πλούτος77, 9-30.

Κούκης, Γ., Ζιούρκας, Κ., 1989.Κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο, Στατιστική Θεώρηση. Ορυκτός Πλούτος 58, 39-58.

Μπλιώνα, Μ., 2008.Ανάπτυξη βάσης δεδομένων κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο. Διατριβή Ειδίκευσης, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Γεωφυσικής, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Πατρών

3. Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στο καθεστώς της πλημμυρικής επικινδυνότητας

3.1 Εισαγωγή

Οι πλημμύρες θεωρούνται από τους πλέον συχνούς και καταστρεπτικούς τύπους φυσικών καταστροφών σε παγκόσμιο επίπεδο. Η έκθεση της ανθρώπινης ζωής και περιουσίας σε κίνδυνο, η καταστροφή έργων υποδομής, γεωργικών και κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων, η έντονη διάβρωση εδαφών και η μόλυνση υδατικών μαζών είναι μερικές από τις πιο σημαντικές επιπτώσεις τους.

Κατά τους Downton και Pielke (2001) και τους Golian et al (2010) οι πλημμύρες επηρεάζουν το μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων και επιφέρουν τις περισσότερες ζημιές από όλες τις φυσικές καταστροφές σε ετήσια βάση. Κατά τον Pilon (2004) τα πλημμυρικά φαινόμενα προκαλούν το ένα τρίτο των εκτιμώμενων ζημιών από φυσικές καταστροφές παγκοσμίως.

Σύμφωνα με ασφαλιστικούς οργανισμούς παγκοσμίου εμβέλειας όπως η Munich Re (2002) οι πλημμύρες καταγράφουν σημαντικά ποσοστά ανάμεσα στα άλλα είδη καταστροφών τόσο σε απόλυτο αριθμό συμβάντων, όσο και σε ότι αφορά τις οικονομικές απώλειες. Συγκεκριμένα οι πλημμύρες αντιστοιχούν στο 26% του αριθμού των μεγάλης κλίμακας καταστροφικών γεγονότων μεταξύ 1950-2002, στο 8% των θανάτων και στο 27% του οικονομικού κόστους που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές στην ίδια περίοδο (Munich Re 2002).

Τα τελευταία χρόνια η διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου εστιάζει σε προσεγγίσεις όπως η πρόγνωση πλημμυρών (flood forecasting), η έγκαιρη προειδοποίηση, ο σχεδιασμός των χρήσεων γης και η αποτύπωση της επικινδυνότητας σε χάρτες. Παράλληλα τα δομικά και μηχανικά μέτρα (φράγματα, κανάλια και άλλα) έχουν περιβληθεί από σκεπτικισμό λόγω των οικονομικών και περιβαλλοντικών τους μειονεκτημάτων (Golian et al 2010).

Οι μεθοδολογίες που ακολουθούνται για τη μείωση του κινδύνου πλημμυρών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο τους. Οι κύριοι τύποι πλημμυρών σύμφωνα με μία από τις πιο συνηθισμένες ταξινομήσεις παρουσιάζονται στον πίνακα 6.

Στην περιοχή της Μεσογείου οι αιφνίδιες (ή ξαφνικές) πλημμύρες (“flashfloods”) είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος πλημμυρών καθώς ευνοείται ιδιαίτερα από τη γεωμορφολογία, τη γεωλογία και τις κλιματικές παραμέτρους.

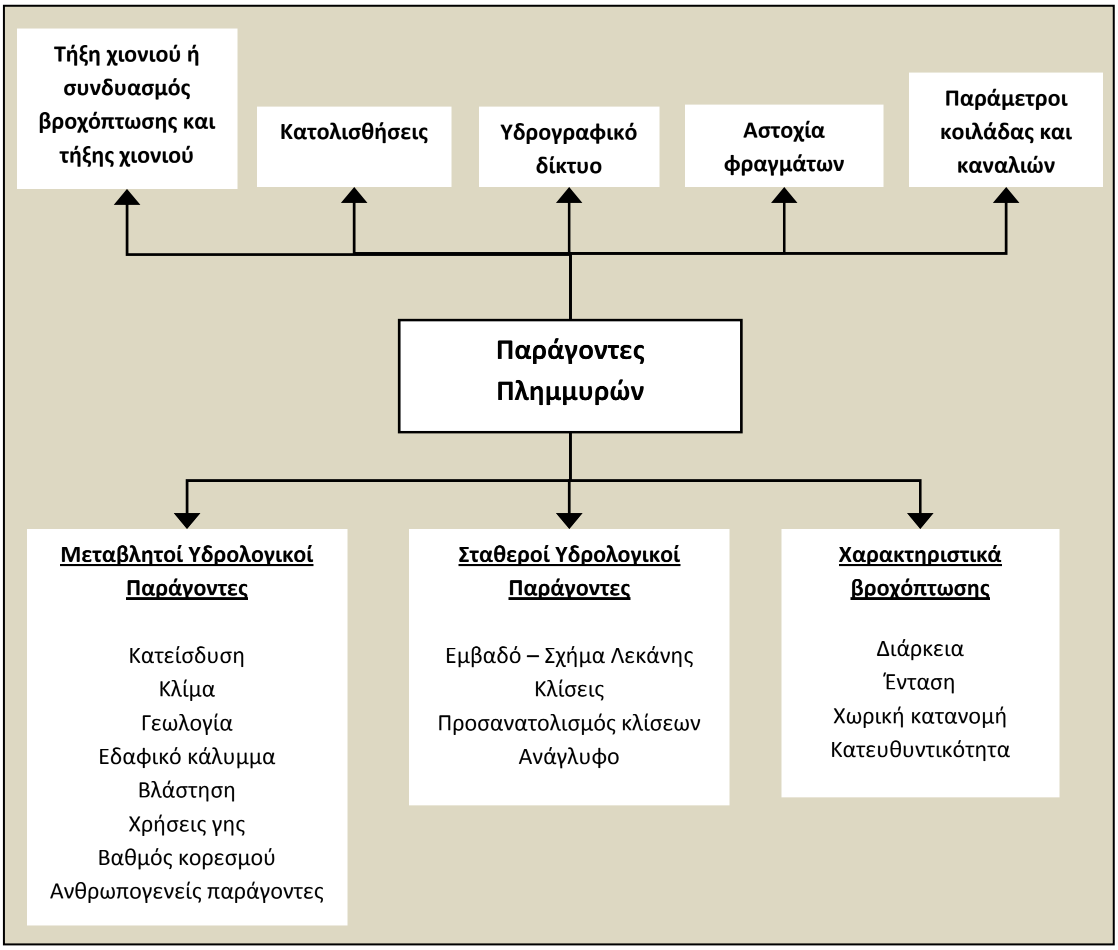
Πίνακας 7. Ταξινόμηση τύπων πλημμυρών σε σχέση με τα συμβατικά αίτια και τις επιπτώσεις τους(Martini και Loat 2007).

Τύπος πλημμύρας	Ενδεικτικά Αίτια	Ενδεικτικές Επιπτώσεις
Ποτάμιες πλημμύρες	Έντονη βροχόπτωση, βροχόπτωση μακράς διαρκείας, λιώσιμο χιονιού, αστοχία αντιπλημμυρικών	Πλημμυρικά ύδατα κατά μήκος πλημμυρικών πεδίων (στάσιμα ή ρέοντα)
Παράκτιες πλημμύρες	Υψηλές παλίρροιες, καταιγίδες, τσουνάμι, συνδυασμός των παραπάνω με έντονη βροχόπτωση	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα κοντά στην ακτή, υποχώρηση της ακτής, υφαλμήρηση της αγροτικής γης κοντά στο παραλιακό μέτωπο
Πλημμύρες ορεινών χειμάρρων	Καταιγίδες, αστάθεια πρανών	Λασπορροές, έντονη διάβρωση, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα και μεταφερόμενο υλικό, δημιουργία αλλουβιακού ριπιδίου
Αιφνίδιες πλημμύρες (flashfloods) σε εφήμερους χειμάρρους	Ιδιαίτερα έντονη βροχόπτωση	Έντονη διάβρωση, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα πολλές φορές εμπλουτισμένα με εδαφικό υλικό, λασπορροές
Πλημμύρες που συνδέονται με το υπεδαφικό νερό	Υψηλή στάθμη υπεδαφικού νερού, κορεσμός υδροφόρου ορίζοντα	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στο πλημμυρικό πεδίο
Πλημμύρες λιμνών	Ταχεία αύξηση των υδατικών αποθεμάτων	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα πέραν της ακτής

Η εκδήλωση πλημμυρών εξαρτάται από μια σειρά από παράγοντες που σχετίζονται με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των υδρολογικών λεκανών, τις μετεωρολογικές παραμέτρους, τα χαρακτηριστικά των καταιγίδων, τη γεωλογία και τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (Σχήμα 16). Ορισμένα από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι σχετικά στατικά (π.χ. τοπογραφία, σχήμα υδρολογικής λεκάνης) ενώ άλλα διαφοροποιούνται με το χρόνο (π.χ. βαθμός κορεσμού εδάφους, ένταση βροχόπτωσης κ.α.).

Ένας από τους πιο σημαντικούς δυναμικούς παράγοντες στην εκδήλωση πλημμυρών είναι η ένταση της βροχόπτωσης (Amadio et al. 2003; Georgakakos 2006; Norbiato et al. 2008; Golianetal 2010). Οι Martin-Vide et al. (1999) υποστηρίζουν ότι οι καταιγίδες υψηλής έντασης μικρής διάρκειας καταιγίδες τείνουν να δημιουργούν πολύ μεγαλύτερους όγκους απορροής από ότι οι καταιγίδες μεγάλης διάρκειας ή οι καταιγίδες μεγάλου συνολικού ύψους βροχής. Με αυτό τον τρόπο έδειξαν τη σημασία του μεγέθους της έντασης της βροχόπτωσης στο φαινόμενο των πλημμυρών.

Εξάλλου, οι Wilbanks et al (2007) υποστηρίζουν ότι ένας από τους πιο άμεσους κινδύνους που μπορεί να προκύψει από μια ενδεχόμενη κλιματική αλλαγή είναι η αύξηση των πλημμυρών που συνδέεται με την αύξηση της έντασης της βροχόπτωσης.



Σχήμα 20. Παράγοντες που σχετίζονται με το φαινόμενο των πλημμυρών (Smith και Ward 1998, τροποποιημένο).

Τις τελευταίες δεκαετίες, σημαντική πρόοδος παρουσιάστηκε στο πεδίο των συστημάτων έγκαιρης ειδοποίησης και πρόγνωσης πλημμυρών. Συστήματα όπως το European Flood Forecasting System (EFFS) (De Roo et al. 2003), το EFAS flood forecasting system (Thielen et al. 2009) και το NWSRFS στις Ηνωμένες Πολιτείες (Day 1985) είναι μερικά παραδείγματα μεγάλης κλίμακας συστημάτων έγκαιρης ειδοποίησης. Τα περισσότερα από τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν την ένταση της βροχόπτωσης σε συνδυασμό με τα φυσικά χαρακτηριστικά των λεκανών με σκοπό να εκτιμήσουν την οριακή ποσότητα βροχόπτωσης που οδηγεί το υδρογραφικό δίκτυο σε κρίσιμες συνθήκες απορροής (Martina et al. 2006; Ntelekos et al. 2006).

Εκτός των μετεωρολογικών παραγόντων, είναι σαφές ότι και άλλες μεταβλητές χρήζουν προσεκτικής μελέτης καθώς παράγοντες όπως η αστικοποίηση, η αλλαγή χρήσεων γης και η κατάσταση των δασών διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον πλημμυρικό κίνδυνο (EEA 2005).

Σύμφωνα με τους Katzκαι Brown (1992) οι αλλαγές στην μεταβλητότητα του παράγοντα της βροχόπτωσης μπορούν να οδηγήσουν σε εκτεταμένες διαφοροποιήσεις την πιθανότητα εκδήλωσης ακραίων γεγονότων.

Η εξάρτηση αυτή των πλημμυρικών φαινομένων από την βροχόπτωση και τα χαρακτηριστικά της καθιστά το καθεστώς εκδήλωσής τους ευάλωτο σε μια πιθανή αλλαγή των κλιματικών παραμέτρων. Το εύρος, το πρόσημο καθώς και η κατανομή της επίδρασης μιας ενδεχόμενης κλιματικής αλλαγής είναι σημαντικό να εξετασθούν ώστε να αποτυπωθούν οι επικείμενες αλλαγές στο καθεστώς εκδήλωσης των πλημμυρών και του συσχετιζόμενου κινδύνου.

3.2 Πλημμύρες στη Μεσόγειο και στον Ελληνικό χώρο

Στο χώρο της Μεσογείου καταγράφονται ιδιαίτερες συνθήκες στο καθεστώς των πλημμυρών δεδομένης της επίδρασης του κλίματος, των ιδιαίτερων γεωλογικών, γεωμορφολογικών και κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών της περιοχής. Οι περισσότερες υδρολογικές λεκάνες των παραλίων της Μεσογείου είναι επιδεκτικές σε αιφνίδιες πλημμύρες (“flashfloods”) οι οποίες αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά καταστροφικά φαινόμενα στην περιοχή και στον Ελληνικό χώρο (Ανδρεαδάκης και Φουντούλης, 2007). Κατά κύριο λόγο οι υδρολογικές λεκάνες έχουν μικρό έως μέσο μέγεθος και αποστραγγίζονται από εφήμερους χειμάρρους με ελάχιστο ή καθόλου νερό κατά τη διάρκεια του έτους.

Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η εκδήλωση έντονων βροχοπτώσεων τους χειμερινούς μήνες, φαινόμενο τυπικό του Μεσογειακού κλίματος, το οποίο κατά κύριο λόγο αποτελεί σημαντικό τμήμα του μηχανισμού εκδήλωσης ξαφνικών πλημμυρών (“flash floods”). Οι πλημμύρες αυτές έχουν μικρή διάρκεια και παρουσιάζουν μεγάλες απορροές. Κατά τη διάρκεια των φαινομένων αυτών παρουσιάζονται εκτεταμένα φαινόμενα διάβρωσης και μεταφοράς εδαφικού υλικού τα οποία δημιουργούν επιπρόσθετους κινδύνους όπως λασπορροές και κατολισθήσεις. Στην ιδιαιτερότητα αυτή συμβάλει το ιδιαίτερο γεωτεκτονικό καθεστώς της περιοχής, που περιλαμβάνει ενεργό τεκτονική, μεγάλες μορφολογικές κλίσεις και ιδιαίτερες λιθολογίες.

Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η συγκέντρωση μεγάλων πληθυσμών σε αστικά κέντρα σε παραποτάμιες και παραλιακές περιοχές η οποία συνδυαζόμενη με τη αξιοσημείωτη οικιστική πίεση και την ταχεία τουριστική ανάπτυξη συμβάλει συχνά στην παρεμπόδιση της ομαλής λειτουργίας των ποτάμιων συστημάτων. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στη ραγδαία αύξηση των οικονομικών επιπτώσεων των πλημμυρών τις τελευταίες δεκαετίες (Ganoulis 2003).

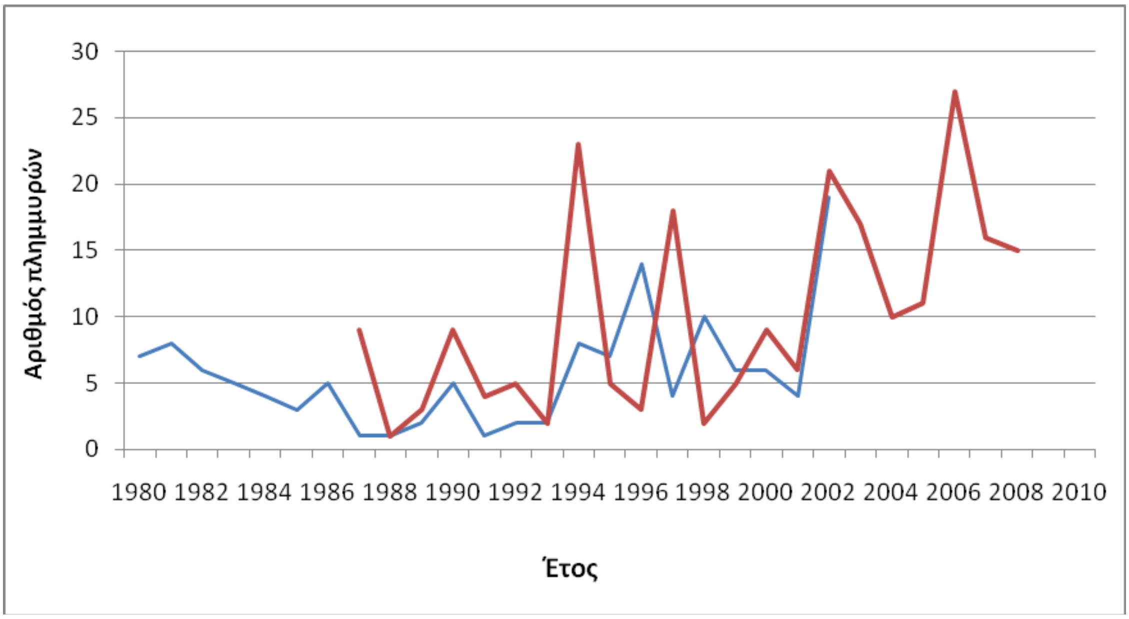
Οι πλημμύρες είναι μια από τις πιο σημαντικές κατηγορίες φυσικών καταστροφών και στον Ελληνικό χώρο, τόσο από οικονομικής πλευράς όσο και από πλευράς κόστους σε ανθρώπινες ζωές. Σύμφωνα με τις Νικολαΐδου και Χατζηχρίστου (1995)τα θύματα στον Ελληνικό χώρο μεταξύ 1887-1994 ανήλθαν στα 216.

Εκτός από τις ανθρώπινες ζωές οι πλημμύρες έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε περιουσίες (οικίες, καταστήματα, βιομηχανίες), στην γεωργία, στην κτηνοτροφία, στις υποδομές (τεχνικά έργα, οδικό δίκτυο) και στα δίκτυα κοινής ωφελείας. Σημαντικά είναι επίσης τα επακόλουθα στον τομέα του περιβάλλοντος αν και το εύρος των επιπτώσεων δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς.

Μια από τις τεχνικές ιδιαιτερότητες του Ελληνικού χώρου είναι η σημαντική έλλειψη ενόργανων δεδομένων κυρίως σε ότι αφορά στην συστηματική καταγραφή των απορροών των υδατορευμάτων. Για το λόγο αυτό κατά καιρούς χρησιμοποιήθηκαν μεθοδολογίες οι οποίες υπολογίζουν τις πλημμυρικές παροχές βάσει χαρακτηριστικών των λεκανών όπως αυτές των Mimikou και Gordios (1989), Acreman (1985)και Muzik (2002).

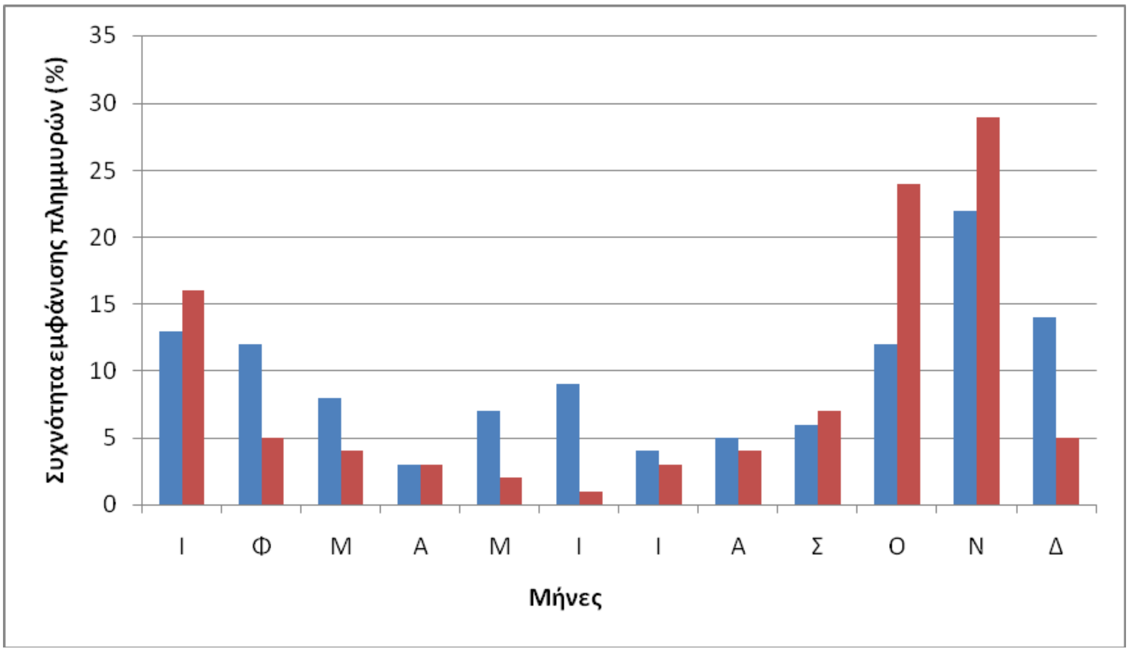
Κατά τον Στάθη (2004) την περίοδο 1980-2002 114 από τις 150 πλημμύρες έλαβαν χώρα σε εφήμερα χειμαρρικά ρεύματα που διέρχονται από οικιστικές περιοχές, ενώ τα υπόλοιπα γεγονότα συνέβησαν σε πιο εκτεταμένα υδρογραφικά δίκτυα, όπως ο Σπερχειός, ο Έβρος ή ο Πηνειός.

Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 21) δίνεται η διακύμανση των πλημμυρικών συμβάντων της περιόδου 1980-2008 αν και μέχρι στιγμής δεν υπάρχει ενιαίος κατάλογος πλημμυρών στον Ελληνικό χώρο (Στάθης 2004, Ματάκου 2009).



Σχήμα 21. Αριθμός πλημμυρών ανά έτος για την περίοδο 1980-2002 στην Ελλάδα (Στάθης 2004 μπλε γραμμή, Ματάκου 2009 – κόκκινη γραμμή).

Σε ότι αφορά την εποχικότητα, η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης πλημμυρικών συμβάντων στον Ελληνικό χώρο παρουσιάζεται το μήνα Νοέμβριο (Σχήμα 22).



Σχήμα 22. Ετήσια κατανομή της συχνότητας των πλημμυρών στην Ελλάδα για την περίοδο 1980-2002 (Στάθης 2004 - μπλέ σειρά), και για την περίοδο 1987-2008 (Ματάκου 2009 - κόκκινη σειρά).

Οι Στάθης (2004) και Ματάκου (2009) απέδωσαν τη συχνότητα εκδήλωσης πλημμυρικών συμβάντων ανά νομό (Πίνακας 7)μελετώντας όμως μικρές χρονικές περιόδους.

Πίνακας 8. Νομοί με υψηλή συχνότητα εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων (Στάθης 2004, Ματάκου 2009).

Περίοδος: 1980-2002 (Στάθης 2004)	Περίοδος: 1987-2008 (Ματάκου 2009)
Αττικής	Αττικής
Ηλείας	Ηλείας
Χανίων	Λακωνίας
Δωδεκανήσων	Δωδεκανήσων
Φθιώτιδας	Φθιώτιδας
Έβρου	Έβρου
Αχαΐας	Θεσσαλονίκης
Λέσβου	Λάρισας
Αργολίδας	Τρικάλων
Κορινθίας	Γρεβενών
Καβάλας	
Χαλκιδικής	

Οι Ματάκου (2009) και Νικολαΐδου και Χατζηχρίστου (1995) καταγράφουν 30 σημαντικά πλημμυρικά γεγονότα μέσα στον αιώνα (Πίνακας 8).

Πίνακας 9. Ορισμένα από τα πιο σημαντικά πλημμυρικά συμβάντα στον Ελληνικό χώρο τον τελευταίο αιώνα (Νικολαΐδου και Χατζηχρίστου 1995 με πρόσθετα στοιχεία μετά το 1995).

Ημ/νία	Θέση	Θύματα	Ημ/νία	Θέση	Θύματα
10/1887	Αθήνα	1	11/1979	Πελοπόννησος	1
11/1896	Αθήνα	21	10/1980	Αθήνα	1
11/1896	Πειραιάς	40	11/1985	Λάρισα	2
11/1924	Καλαμάτα	15	10/1989	Αθήνα	7
11/1925	Αθήνα	8	8/1990	Εύβοια	5
10/1930	Αθήνα	2	10/1990	Πελοπόννησος	1
10/1933	Αθήνα	1	1/1991	Αθήνα	1
10/1933	Πειραιάς	2	11/1992	Καβάλα	4
11/1934	Πειραιάς	6	10/1994	Ρόδος	4
11/1936	Πειραιάς	2	10/1994	Αθήνα	9
10/1938	Αθήνα	1	1/1997	Κόρινθος	6
11/1961	Αθήνα	40	11/2001	Πάτρα	2
11/1977	Αθήνα	21	2/2003	Πρέβεζα	2
11/1977	Πειραιάς	17	10/2008	Ποταμούλα Αιτ/νίας	2
11/1979	Θεσσαλονίκη	4	9/2009	Εύβοια	1

Ο Λέκκας (2000) επισημαίνει την αύξηση, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, των πλημμυρών στα όρια οικιστικών περιοχών. Κύρια αίτια της τάσης αυτής είναι κατά τον Λέκκα (2000) και τον Στάθη (2004) ο περιορισμός της κοίτης των ρεμάτων, ο φραγμός των κοιτών, η μείωση των δασικών εκτάσεων λόγων των πυρκαγιών και η μείωση της κατείσδυσης εντός του αστικού περιβάλλοντος. Ο Στάθης (2004) υποστηρίζει ότι υπάρχει σημαντική συμβολή του ανθρώπινου παράγοντα στην εκδήλωση πλημμυρών αλλά και στα αποτελέσματα τους.

Η διαθεσιμότητα ενόργανων στοιχείων για τις πλημμυρικές απορροές είναι σχετικά περιορισμένη στον Ελληνικό χώρο αλλά και γενικά στον Ευρωπαϊκό νότο (Gaume et al 2009). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται υδραυλικές και υδρολογικές μέθοδοι για τον υπολογισμό των υδρολογικών παραμέτρων.

Εξάλλου, οι Ανδρεαδάκης και Φουντούλης (2007) υποστηρίζουν ότι στις τεκτονικά ενεργές περιοχές, τα πλημμυρικά φαινόμενα καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωμορφολογία μιας περιοχής.

3.3 Κλιματική Αλλαγή και πλημμύρες

Το ζήτημα μιας πιθανής αύξησης του πλημμυρικού κινδύνου σε περίπτωση κλιματικής μεταβολής είναι εξαιρετικά σημαντικό. Κατά τους Kleinen και Petschel-

Held (2007) περίπου 20% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε υδρολογικές λεκάνες που είναι πιθανό να επηρεασθούν από αύξηση του πλημμυρικού κινδύνου που μπορεί να προκύψει από μια ενδεχόμενη κλιματική αλλαγή.

Οι Millyetal (2002) έδειξαν ότι παρατηρείται αύξηση των σπάνιων πλημμυρών (περιόδου επαναφοράς μεγαλύτερης των 100 ετών) σε μεγάλο τμήμα της υφηλίου σε υδρογραφικά δίκτυα άνω των 200.000 km^2. Οι Milly et al. (2002) μελετώντας 29 μεγάλης κλίμακας υδρολογικές λεκάνες διαπίστωσαν ότι εμφανίζεται μια μέση αύξηση στη συχνότητα μεγάλων πλημμυρών μέσα στον τελευταίο αιώνα (και κυρίως τις τελευταίες δεκαετίες).

Παρόλα αυτά νεότερες μελέτες απέρριψαν αυτή την άποψη παρουσιάζοντας αντιθετικά αποτελέσματα. Οι Kundzewicz et al (2005) εξετάζοντας την εκδήλωση πλημμυρών μέχρι σήμερα σε περίπου 200 υδρολογικές λεκάνες παγκοσμίως παρατήρησαν ανοδικές τάσεις στη συχνότητά τους σε μόνο 27 περιπτώσεις, καθοδικές τάσεις σε 31, ενώ στις υπόλοιπες δεν παρατηρήθηκε κανενός είδους διαφοροποίηση.

Οι Parry et al. (2007) στο πλαίσιο της τέταρτης αναφοράς του IPCC συνοψίζουν προβλεπόμενες πιθανές συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στις φυσικές καταστροφές στα εξής:

- Αύξηση των περιοχών που υποφέρουν από ξηρασία
- Αύξηση των έντονων βροχοπτώσεων και της κυκλονικής δραστηριότητας με άμεση επιρροή στις πλημμύρες

Σε ότι αφορά την πρόγνωση για το μελλοντικό καθεστώς εκδήλωσης πλημμυρών, οι Wetherald and Manabe (2002) υποστηρίζουν ότι ένα θερμότερο κλίμα και η μεταβλητότητα που θα το διέπει θα οδηγήσουν σε αύξηση του κινδύνου πλημμυρών.

Οι Kundzewicz et al (2007) υποστηρίζουν ότι μία από τις πιο σίγουρες και ταυτόσημες προβλέψεις όλων των κλιματικών μοντέλων είναι η αύξηση της έντασης της βροχόπτωσης που πρόκειται να λάβει χώρα σε ένα θερμότερο κλίμα. Αυτό κατά τους Kundzewicz et al (2007) θα επηρεάσει τον κίνδυνο αιφνίδιων και αστικών πλημμυρών.

Οι Lehner et al (2006) βασιζόμενοι σε μεταβολές των μετεωρολογικών παραμέτρων που προκύπτουν από μοντέλα γενικής κυκλοφορίας υποστηρίζουν ότι η Ευρωπαϊκή ήπειρος είναι πιθανό να υποστεί αύξηση στη συχνότητα εκδήλωσης πλημμυρών (πίνακας 9). Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει και η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (ΕΕΑ 2005) η οποία υποστηρίζει ότι η αύξηση έντονων, μικρής διάρκειας βροχοπτώσεων είναι πιθανό να αυξήσει τον κίνδυνο πλημμυρών στην Ευρώπη.

Στις παρατηρηθείσες αλλαγές στον ίδιο τομέα εντάσσονται και οι παρατηρήσεις του Smith (2000) περί αύξησης των πλημμυρών των συσχετιζόμενων με το λιώσιμο των πάγων στη ευρύτερη περιοχή της Σιβηρίας.

Πίνακας 10. Προβλεπόμενες επιπτώσεις μιας ενδεχόμενης κλιματικής αλλαγής στην συχνότητα πλημμυρών στον Ευρωπαϊκό χώρο βασισμένα στα μοντέλα ECHAM4 και HadCM3 (Lehner et al 2006).

Περίοδος	Καθεστώς εκδήλωσης πλημμυρών στην Ευρώπη
2020	Αυξημένος κίνδυνος πλημμυρών τους χειμερινούς μήνες στην βόρεια και αιφνίδιων πλημμυρών σε όλη την Ευρώπη
2070	Μείωση των χρόνων επαναφοράς ακραίων πλημμυρών στη βόρεια και βορειοανατολική Ευρώπη, στην κεντρική και στα τμήματα που βρέχονται από τον Ατλαντικό. Αύξηση των χρόνων επαναφοράς σπάνιων πλημμυρών για μεγάλα τμήματα της νότιας Ευρώπης.

Οι Palmer και Räisänen (2002) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι παρουσιάζεται αύξηση της βροχόπτωσης των χειμερινών μηνών στην Ευρώπη, κάτι που υποστηρίζουν είναι πιθανό να έχει επιπτώσεις στον πλημμυρικό κίνδυνο. Σύμφωνα με τον Mirza (2003) στην νοτιοανατολική Ασία η έκταση των εκτάσεων που πλήττονται από πλημμύρα παρουσιάζει τάση αύξησης. Συγκεκριμένα για το Μπαγκλαντές, κατά τον Mirza (2003), οι περιοχές που πλημμυρίζουν μπορούν να αυξηθούν έως και 29%.

Ο Muzik (2002) μελετώντας διάφορα σενάρια μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων στην Albertatou Καναδά, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η αύξηση των πλημμυρικών παροχών καθίσταται πιθανή. Συγκεκριμένα τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής δείχνουν ότι στη συγκεκριμένη υδρολογική λεκάνη που εξετάσθηκε η παροχή αιχμής περιόδου επαναφοράς 100 ετών είναι πιθανό να αυξηθεί κατά 35% - 40% μέσα στα επόμενα 100 χρόνια, ανάλογα με το κλιματικό σενάριο.

Από τη μελέτη των Loukas et al (2002) στην ίδια περιοχή προκύπτουν μικτά αποτελέσματα καθώς εξετάζουν δύο υδρολογικές λεκάνες μία εκ των οποίων εμφανίζει μείωση στις παροχές αιχμής ενώ η δεύτερη αύξηση.

Οι Aaheim et al (2008)υποστηρίζουν ότι στην κεντρική Ευρώπη θα αυξηθούν οι αστικές και οι αιφνίδιες πλημμύρες κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι Feyen et al (2006) διαπιστώνουν αύξηση του κόστους και του πληθυσμού που επηρεάζεται από πλημμύρες σε μεγάλα ποτάμια της κεντρικής Ευρώπης, τάσεις οι οποίες θα ακολουθήσουν αντίστοιχες ανοδικές τάσεις στην έκταση και το βάθος των πλημμυρών περιόδου επαναφοράς 100 ετών.

Σε ότι αφορά την απόκριση των μέσων απορροών σε μια ενδεχόμενη κλιματική αλλαγή, ο Arnell (1999) αναλύοντας τα αποτελέσματα 4 μοντέλων γενικής κυκλοφορίας για τον Ευρωπαϊκό χώρο, έδειξε ότι νοτιότερα του γεωγραφικού πλάτους 50°Ν θα υπάρξει μια μείωση του μέσου όγκου τους. Αντίθετα βόρεια του γεωγραφικού πλάτους 50°Ν ο Arnell (1999) προέβλεψε αύξηση του όγκου των μέσων απορροών των ποτάμιων συστημάτων.

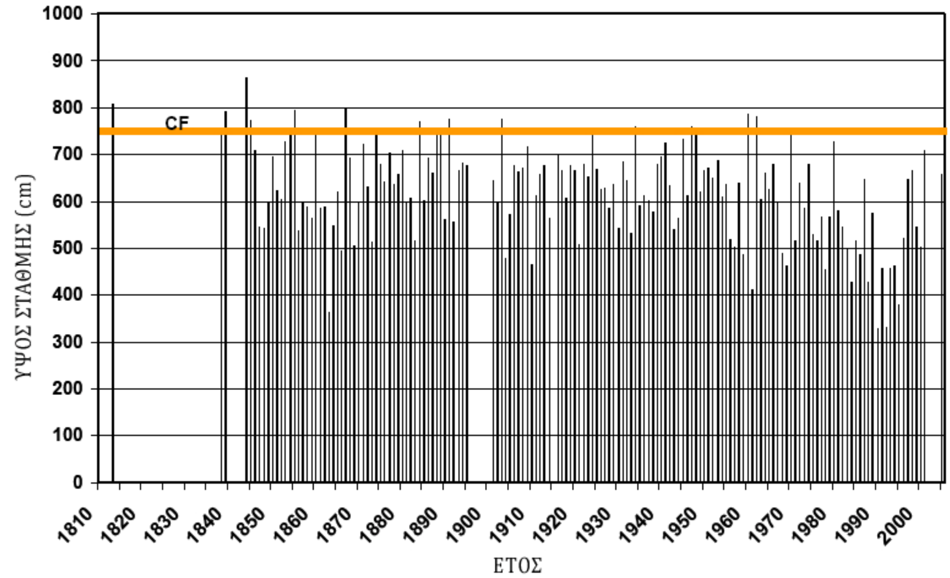
Σύμφωνα με τον Behrens (2010) οι επιδράσεις στον Ευρωπαϊκό χώρο σε ότι αφορά τις ποτάμιες πλημμύρες θα είναι υψηλότερες στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη, μέσες στη βόρεια και μικρότερες στη νότια. Βέβαια στη νότια Ευρώπη κατά τους Behrens et al (2010) σημαντικότερο κίνδυνο θα αποτελέσουν οι ξαφνικές πλημμύρες(“flash floods”). Επιπρόσθετα και η EEA (2004) προβλέπει ότι η κλιματική αλλαγή θα οδηγήσει σε αύξηση των πλημμυρικών συμβάντων στην Ευρώπη και κυρίως των ξαφνικών πλημμυρών (“flash floods”) οι οποίες συνδέονται και με τα μεγαλύτερα ποσοστά απωλειών ανθρώπινων ζωών.

Αντίθετα οι Reynard et al. (2004) αναδεικνύοντας της αβεβαιότητες που υπάρχουν στην πρόγνωση του μελλοντικού πλημμυρικού καθεστώτος, δείχνουν ότι η τάση διαφοροποίησης στη συχνότητα των πλημμυρών για το Ηνωμένο Βασίλειο, αλλάζει πρόσημο ανάλογα με το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας (GCM) που χρησιμοποιείται.

Παράλληλα οι Barrera et al. (2006) μελετώντας τις ανατολικές ακτές τις Ιβηρικής χερσονήσου ισχυρίζονται ότι δεν προκύπτει μέχρι σήμερα στο χώρο της Μεσογείου ανοδική τάση στην συχνότητα των πλημμυρικών συμβάντων και συσχέτιση με την αντίστοιχες τάσεις στη βροχόπτωση. Παρόλα αυτά καταγράφουν ανοδική τάση στις επιπτώσεις των πλημμυρών μελετώντας το διάστημα από το 1400μ.Χ. έως και σήμερα την οποία αποδίδουν στην αύξηση της τρωτότητας λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων. Παράλληλα εντοπίζουν κλιματικούς κύκλους της τάξεως των εκατό και των πενήντα ετών.

Επιπρόσθετα οι Cyberski et al (2006) μελετώντας τα πλημμυρικά φαινόμενα στην κεντρική Ευρώπη από το 1800 μέχρι σήμερα δείχνουν ότι δεν υπάρχει εμφανής τάση αύξησης των πλημμυρικών συμβάντων (Σχήμα 23).

Επίσης κατά τους Ludwig et al., (2003) και Benito et al.(2005) στην περιοχή της Μεσογείου δεν καταγράφεται τάση αύξησης της συχνότητας των πλημμυρικών γεγονότων με βάση τα ιστορικά στοιχεία.



Σχήμα 23. Ετήσια μέγιστη στάθμη του ποταμού Βιστούλα στη Βαρσοβία την περίοδο 1810-2000. Η πορτοκαλί γραμμή αντιπροσωπεύει τη κρίσιμη στάθμη υπερχείλισης. Από το σχήμα

διαφαίνεται ότι δεν προκύπτουν ενδείξεις τάσης αύξησης των πλημμυρικών συμβάντων (Cyberski et al 2006).

Σε ότι αφορά το οικονομικό κόστος των πλημμυρών, οι Ciscar et al. (2009) υπολογίζουν ότι μέχρι το 2100 αυτό θα αυξηθεί από τα 6 δισ. Ευρώ ανά έτος (που είναι σήμερα) στα 8 έως 15 δισ. Ευρώ ανά έτος.

Είναι βέβαια σαφές ότι οι δύο αυτοί τύποι φυσικών κινδύνων είναι πιθανό να ενισχυθούν και από μη κλιματικούς παράγοντες όπως η αλλαγή των χρήσεων γης (Kundzewicz et al. 2007).

Οι White et al (1996) υποστηρίζουν ότι τα περισσότερα μοντέλα προβλέπουν μια αυξητική τάση στα πλημμυρικά συμβάντα, όμως τα αντιθετικά αποτελέσματα που προκύπτουν σε ορισμένες περιπτώσεις, επιβάλουν το να συνυπολογίζεται ένας βαθμός αβεβαιότητας. Σύμφωνα με τους Rosenzweig et al (2007) οι καταγραφές σχετικά με την εκδήλωση πλημμυρικών γεγονότων δείχνουν ότι δεν υπάρχουν στοιχεία για αύξηση της συχνότητας των πλημμυρών σε γενικό παγκόσμιο επίπεδο.

Στον Ελληνικό χώρο οι Panagoulia και Dimou (1997) έδειξαν την εξάρτηση της συχνότητας και του μεγέθους των πλημμυρών από τις αλλαγές στη βροχόπτωση (κατά κύριο λόγο) και στη θερμοκρασία. Στη μελέτη αυτή αλλά και σε προηγούμενες στην περιοχή του Αχελώου (Panagoulia 1991; Panagoulia 1992) διαπίστωσαν ότι η προβλεπόμενη από το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε αύξηση της βροχόπτωσης θα οδηγήσει σε αύξηση της συχνότητας και της διάρκειας των πλημμυρών. Οι αλλαγές αυτές διαπιστώθηκε ότι θα είναι πιο σημαντικές για μικρότερου εύρους πλημμυρικά φαινόμενα.

3.4 Δεδομένα και Μεθοδολογία

Τα κλιματικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για να εξετασθεί η πιθανή επίδραση της κλιματικής αλλαγής στο καθεστώς εκδήλωσης πλημμυρών, προέκυψαν από την εφαρμογή του προγνωστικού μοντέλου γενικής κυκλοφορίας (GCM) ECHAM5 για το σενάριο A1B. Το κλιματικό μέγεθος το οποίο αναλύθηκε ήταν οι εντάσεις βροχόπτωσης 3 και 24 ωρών για τις δεκαετίες 1990-1999 (περίοδος ελέγχου), 2040-2049 και 2090-2099.

Παράλληλα εξετάσθηκαν τα δεδομένα βροχόπτωσης του μοντέλου HadCM3 για τις περιόδους 1960-1990 και 2070-2100 και τα σενάρια A2 και B2.

Με σκοπό να διερευνηθεί η αλλαγή στο καθεστώς της πλημμυρικής επικινδυνότητας είναι απαραίτητο να εξετασθεί η αλλαγή στο πιθανοτικό καθεστώς των απορροών κάθε υδρολογικής λεκάνης. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να εκτιμηθεί απόλυτα το πρόσημο, η έκταση και η κατανομή στο χώρο των αλλαγών. Παρόλα αυτά στον Ελληνικό χώρο προκύπτουν σημαντικές ελλείψεις στο πεδίο των απορροών ώστε να δυσχεραίνουν την εφαρμογή μεθοδολογιών που βασίζονται στην στατιστική ανάλυσή τους.

Κατά συνέπεια στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε μια πολυπαραγοντική προσέγγιση με κύριο εργαλείο την στατιστική ανάλυση των βροχοπτώσεων και τη χρήση μοντέλων βροχόπτωσης απορροής.

Με αυτό τον τρόπο εκτιμήθηκε η μεταβολή στο καθεστώς των έντονων βροχοπτώσεων και η συσχετιζόμενη αλλαγή που θα προκαλέσει στις απορροές των υδρογραφικών δικτύων.

Για το σκοπό αυτό αρχικά υπολογίσθηκε η μεταβολή των εντάσεων 3 ωρών περιόδου επαναφοράς πενταετίας σε όλη την Ελληνική επικράτεια συγκρίνοντας την περίοδο 1990-1999 (περίοδο ελέγχου) με τις περιόδους 2040-2049 και 2090-2099 αλλά και 1960-1990 με 2070-2100. Το βήμα αυτό έγινε με σκοπό να αναγνωρισθούν οι περιοχές όπου υπάρχει τάση μείωσης ή αύξησης στην ένταση των κατακρημνισμάτων καθώς και η έκταση των όποιων διαφοροποιήσεων.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν όρια έντασης βροχόπτωσης (thresholds) η υπέρβαση των οποίων ενισχύει σημαντικά την πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρών (Cannon 2005).Στην παρούσα μελέτη εξετάσθηκε η διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης των ορίων αυτών μεταξύ των υπό μελέτη περιόδων. Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκε το όριο που ισχύει για την περιοχή της Καλιφόρνια (Cannon 2005) που περιγράφεται από την εξίσωση (α)(όπου Ιείναι η ένταση της βροχής σε mm/hκαι Dη διάρκεια σε ώρες).

$$I = 14 \times D^{-0.5} \quad (\alpha)$$

Παράλληλα χρησιμοποιήθηκε η σχέση αυτή όπως προκύπτει από την εξέταση καταιγίδων και πλημμυρών στην περιοχή της βορειοανατολικής Αττικής (Διακάκης, υπό δημοσίευση)

$$I = 23.163 \times D^{-0.502} \quad (\beta)$$

Τα δύο αυτά όρια αποδίδουν παραπλήσιες τιμές για διάρκειες καταιγίδας από 1 έως 24 ώρες. Περιορισμό στη μεθοδολογία αυτή αποτελεί το μέγεθος της υδρολογικής λεκάνης καθώς σε πολύ εκτεταμένα υδρογραφικά δίκτυα η ένταση δεν αποτελεί τόσο κρίσιμο παράγοντα στην εκδήλωση πλημμυρών. Το κριτήριο αυτό επομένως σχετίζεται κυρίως με υδρολογικές λεκάνες μικρού και μέσου μεγέθους.

Ακολούθως επιλέχθηκαν χαρακτηριστικές υδρολογικές λεκάνες ποικίλων μεγεθών σε όλη την επικράτεια, στις οποίες έχουν καταγραφεί πλημμυρικά γεγονότα και στις οποίες υπάρχει ανθρώπινος πληθυσμός και κατασκευές σε κίνδυνο (Πίνακας 11, Σχήμα 24). Η επιλογή έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει αντιπροσωπευτική γεωγραφική εξάπλωση σε όλη την επικράτεια.

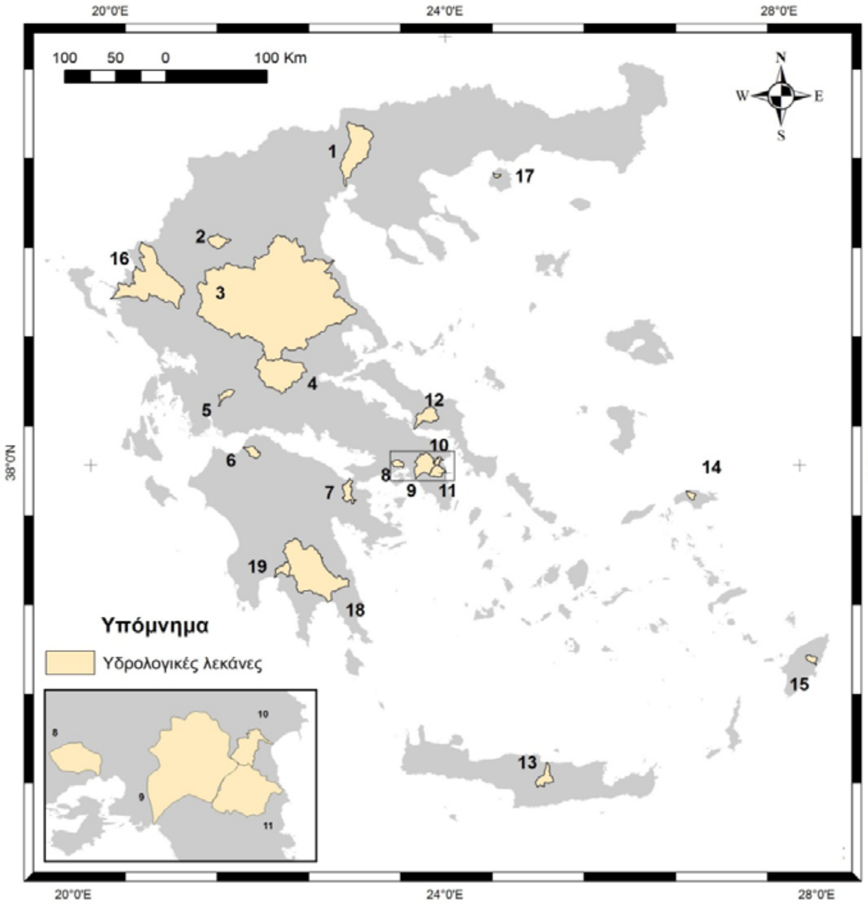
Για τις λεκάνες αυτές εκτιμήθηκε με τη μέθοδο του Sutcliffe (1978) η μεταβολή στην παροχή αιχμής περιόδου επαναφοράς 5 ετών. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι μια από τις μακροβιότερες στον Ευρωπαϊκό χώρο καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχημένα σε υδρολογικές λεκάνες χωρίς υδρομετρήσεις (Μπαλούτσος 2000, Κουτσογιάννης 1998).

Με την εφαρμογή της μεθόδου εκτιμήθηκε το πρόσημο και η έκταση της αλλαγής του καθεστώτος των απορροών βάσει της αλλαγής του καθεστώτος των βροχοπτώσεων.

Λόγω της πολυπλοκότητας και της έλλειψης στοιχείων δεν ελήφθη υπόψη πιθανή αλλαγή στις χρήσεις γης όπως για παράδειγμα η αύξηση της αστικοποίησης η οποία ενδεχομένως να είχε επίδραση στη διακύμανση των απορροών στο μέλλον.

Πίνακας 11. Υδρολογικές λεκάνες που μελετήθηκαν

Α/Α	Όνομα κύριου υδατορρεύματος	Νομός	Έκταση (km^2)	Σημαντικό πλημμυρικό συμβάν
1	Γαλλικός	Θεσσαλονίκης	100	18-11-1979
2	Γρεβενιώτικος	Γρεβενών	182	29-10-1978
3	Πηνειός	Λάρισας, Τρικάλων		22-10-1994
4	Σπερχειός	Φθιώτιδας	115	23-11-1998
5	Ερμίτσας	Αιτωλοακαρνανίας	92	
6	Διακονιάρης	Αχαΐας	108	16-12-2001
7	Ξηριάς	Κορινθίας	165	12-1-1997
8	Σούρες	Αττικής	62	
9	Κηφισός	Αττικής	331	8-7-2002
10	Ραπεντώσα	Αττικής	38	23-11-2005
11	Ρέμα Ραφήνας	Αττικής	123	
12	Λήλαντας	Εύβοιας	261	11-09-2009
13	Γιόφυρος	Ηρακλείου	187	13-01-1994
14	Φουρνιότικο (Σάμος)	Σάμου	46	
15	Μάκαρης(Ρόδος)	Δωδεκανήσου	64	20-10-1994
16	Καλαμάς	Θεσπρωτίας	1800	
17	Πρίνος	Καβάλας	25	7-11-1989
18	Ευρώτας	Λακωνίας	1970	7-11-1999
19	Νέδων	Μεσσηνίας	134	4-11-1924



Σχήμα 24. Χάρτης της Ελληνικής επικράτειας και οι υπό μελέτη υδρολογικές λεκάνες.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε δίνει με σαφήνεια το πρόσημο και την έκταση της αλλαγής του καθεστώτος των απορροών, στηριζόμενη στην αλλαγή στο καθεστώς των βροχοπτώσεων. Ο τύπος του Sutcliffe (1978) συνδέει την μέγιστη βροχόπτωση περιόδου επαναφοράς 5 ετών με το χρόνο ανόδου (Tp) του μοναδιαίου υδρογραφήματος μέσω του τύπου:

Η μεθοδολογία έχει ως δεδομένα εισόδου τα εξής:

- την έκταση της υδρολογικής λεκάνης (AREA) σε km2
- το μήκος του κύριου υδατορεύματος (MSL)σε km
- την μέση κλίση της λεκάνης (S) σε m/km, μετρημένη ανάμεσα στις θέσεις 10% και 85% του μήκους του κύριου κλάδου (m/km):

$$S = (Z85 - Z10) / (0.75 \times MSL)$$

Όπου Z10 και Z85 τα υψόμετρα στις θέσεις αυτές.

- το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στη λεκάνη (SAAR) σε mm για όλες τις υπό μελέτη περιόδους
- στοιχεία από το πιθανοτικό καθεστώς των βροχοπτώσεων στην περίοδο ελέγχου (1990-1999) και τις περιόδους 2040-2049 και 2090-2099, όπως για παράδειγμα η βροχόπτωση 24 ωρών περιόδου επαναφοράς πενταετίας

- το συντελεστή αστικής ανάπτυξης στη λεκάνη απορροής URBAN(0<URBAN<1)

Από τα δεδομένα αυτά υπολογίζεται ο χρόνος ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος σύμφωνα με τον τύπο

$$Tp = 46.6 \times MSL^{0.14} / [S^{0.35} \times (1 + URBAN)^{1.99} \times RSMD^{0.4}]$$

Όπου Tp ο χρόνος ανόδου του υδρογραφήματος (hr), Lτο μήκος του κύριου κλάδου (km), URBANτο ποσό αστικής ανάπτυξης στην λεκάνη απορροής (0<URBAN<1), RSMD η μέγιστο ύψος βροχής 24 ωρών περιόδου επαναφοράς 5 ετών,Sη μέση κλίση της λεκάνης. Ο χρόνος ανόδου με τη σειρά του δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού της καταιγίδας σχεδιασμού σύμφωνα με τον τύπο

$$D = [1 + (SAAR/1000)] \times Tp$$

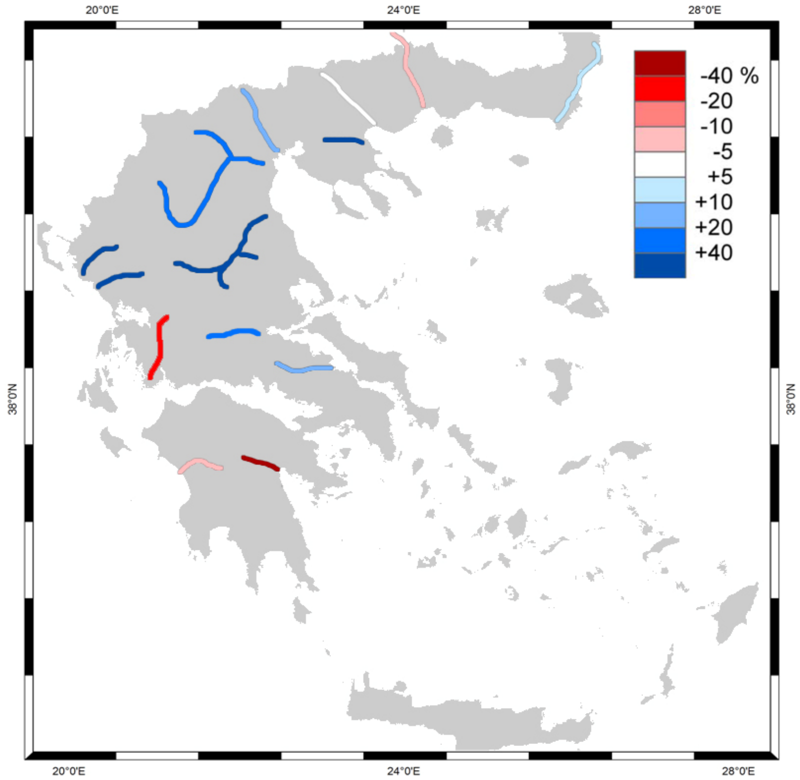
Τελικώς σύμφωνα με τη μέθοδο η παροχή αιχμής του υδρογραφήματος δίνεται από τον τύπο

$$Qp = (CN \times AREA \times P \times PR) / (10^5 \times T)$$

όπου Tείναι η χρονική βάση του μοναδιαίου υδρογραφήματος σε ώρες (hr) η οποία συνήθως έχει την τιμή 1, AREA είναι η έκταση της υδρολογικής λεκάνης σε km2, Pείναι η βροχόπτωση σχεδιασμού σε mmκαι PR είναι ένας παράγοντας που καθορίζει το ποσοστό απορροής και εξαρτάται από την προηγούμενη υγρασία και το είδος του εδάφους. CN είναι μια σταθερά που εξαρτάται από τους λόγους D/T και Tp/T και προκύπτει από νομογράμματα της μεθόδου (Sutcliffe 1978). Μέσω της μεθόδου υπολογίστηκε η επί τοις εκατό διαφορά μεταξύ των παροχών αιχμής με πιθανότητα εμφάνισης P = 0,2 (ή περίοδο επαναφοράς τα 5 έτη).

Η διαφορά στις ίδιες λεκάνες μεταξύ των αποτελεσμάτων στον υπολογισμό παροχών αιχμής μεταξύ των περιόδων μελέτης, προκύπτει από την εξάρτηση της σταθεράς CN και του παράγοντα Pαπό το πιθανοτικό καθεστώς των βροχοπτώσεων μεταξύ των περιόδων αυτών. Έτσι το αποτέλεσμα του υπολογισμού δείχνει τη διαφορά στο καθεστώς απορροών και την περίοδο επαναφοράς τους.

Τα αποτελέσματα, τέλος διασταυρώθηκαν με τις εκτιμήσεις άλλων μελετών, όπως αυτή των van der Knijff et al. (2008) τα αποτελέσματα του οποίου (για τον ελληνικό χώρο) φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 25).

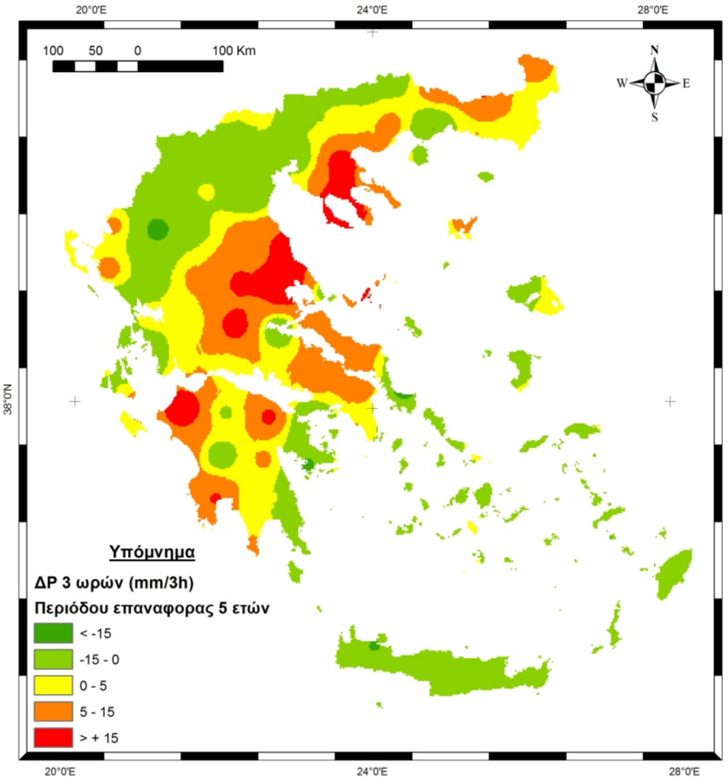


Σχήμα 25. Σχετική αλλαγή στην παροχή αιχμής περιόδου επαναφοράς 100 ετών σε υδρολογικές λεκάνες άνω των 1000 km2,για το σενάριο Α2. Οι τιμές αναφέρονται στην μεταβολή μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100 και (van der Knijff et al. 2008, τροποποιημένο).

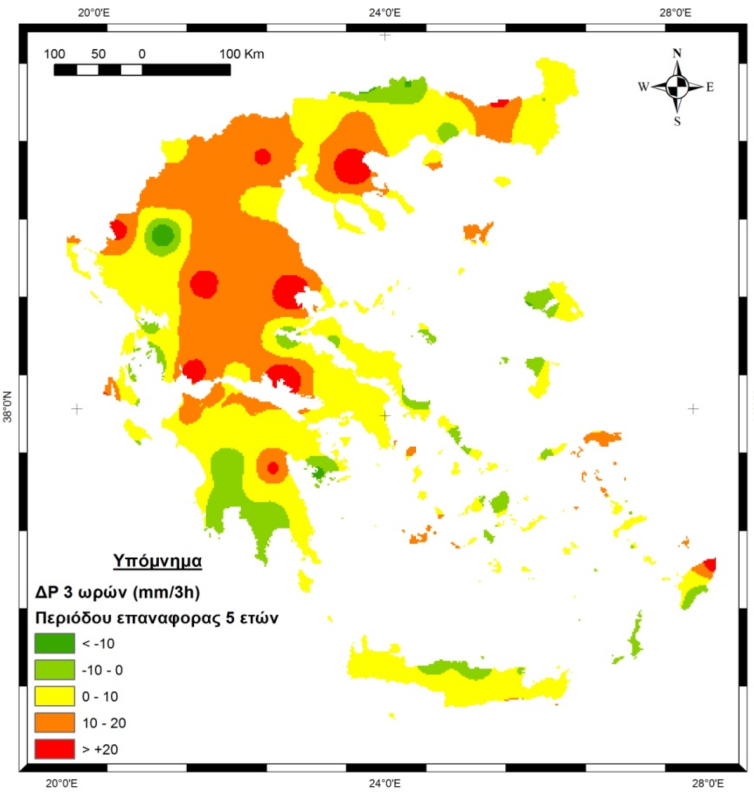
3.5 Αποτελέσματα

3.5.1 Σενάριο A1B (ECHAM5)

Για να εντοπισθούν οι περιοχές όπου εμφανίζεται διαφοροποίηση στο καθεστώς της έντασης των κατακρημνισμάτων υπολογίσθηκε (όπως προαναφέρθηκε) σε μορφή πλέγματος σε όλη την ελληνική επικράτεια η διαφορά μεταξύ των βροχοπτώσεων περιόδου επαναφοράς 5 ετών (Σχήμα 26 και 27).



Σχήμα 26. Διαφορά στην βροχόπτωση 3 ωρών περιόδου επαναφοράς 5 ετών μεταξύ των περιόδων 2040-2049 και 1990-1999 σε mm/3h. Η αρνητικές τιμές δείχνουν πτώση σε σχέση με την περίοδο ελέγχου.



Σχήμα 27. Διαφορά στην βροχόπτωση 3 ωρών περιόδου επαναφοράς 5 ετών μεταξύ των περιόδων 2090-2099 και 1990-1999 σε mm/3h. Η αρνητικές τιμές δείχνουν πτώση σε σχέση με την περίοδο ελέγχου.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η ραγδαιότητα (υπολογισμένη σε εντάσεις 3 ωρών περιόδου επαναφοράς 5 ετών) θα αυξηθεί κατά μέσο όρο στην επικράτεια (Πίνακας 12).

Πίνακας 12. Μεταβολές στο μέσο ύψος βροχής 3 ωρών μεταξύ της περιόδου ελέγχου και των περιόδων 2040-2049 και 2090-2099.

Περίοδος	Συνολικό ύψος βροχής 3 ωρών σε mm (μέση τιμή για όλη την επικράτεια)	Μέση διαφορά σε σχέση με την περίοδο ελέγχου	Τυπική απόκλιση
1990-1999	34,6		7,2
2040-2049	36,68	+ 5,7%	9,4
2090-2099	42,9	+ 23,9 %	8,9

Παράλληλα με τη μέση αύξηση της έντασης προκύπτει ότι θα αυξηθεί και η μεταβλητότητα όπως φαίνεται από την υπολογιζόμενη τυπική απόκλιση.

Από την περιοχή ανάλυση των αποτελεσμάτων σε μορφή πλέγματος προκύπτει ότι η ραγδαιότητα την περίοδο 2040-2049 αναμένεται να μειωθεί στην δυτική και κεντρική Μακεδονία, στη νησιωτική Ελλάδα (με μεγαλύτερες τιμές στην Κρήτη), και στην ανατολική και νότια Πελοπόννησο (Σχήμα 26).

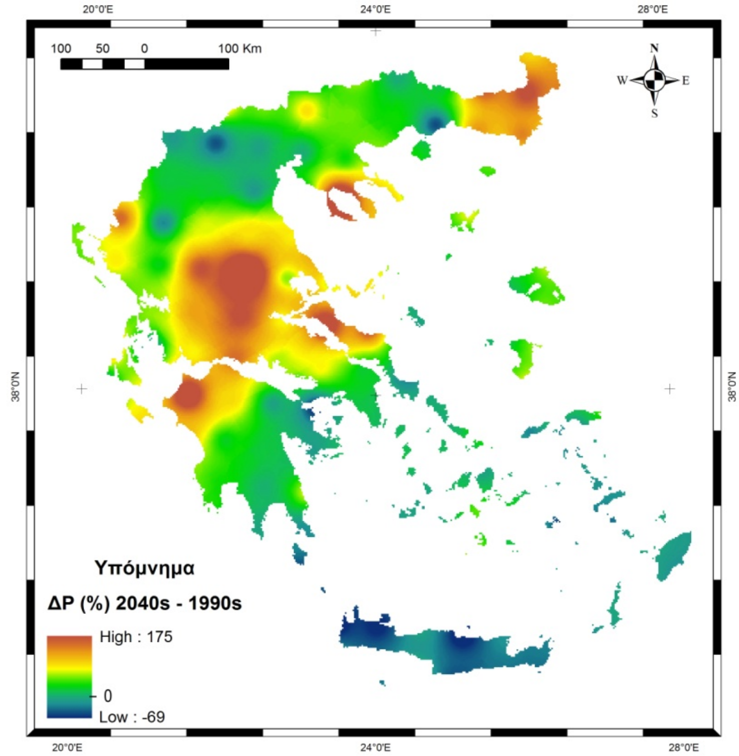
Για το διάστημα 2090-2099 η περιοχές μείωσης συρρικνώνονται και περιορίζονται στη νότια και κεντρική Πελοπόννησο, στη βόρεια Κρήτη και την Κάρπαθο και ορισμένες θέσεις στη Μακεδονία (Σχήμα 27).

Σε ότι αφορά στην υπέρβαση ορίων βροχόπτωσης που οδηγούν σε αυξημένο κίνδυνο πλημμύρας βρέθηκε οριακή αλλαγή για την περίοδο 2040-2049 και σημαντική αύξηση της πιθανότητας υπέρβασης τους για την περίοδο 2090-2099 (Πίνακας 13).

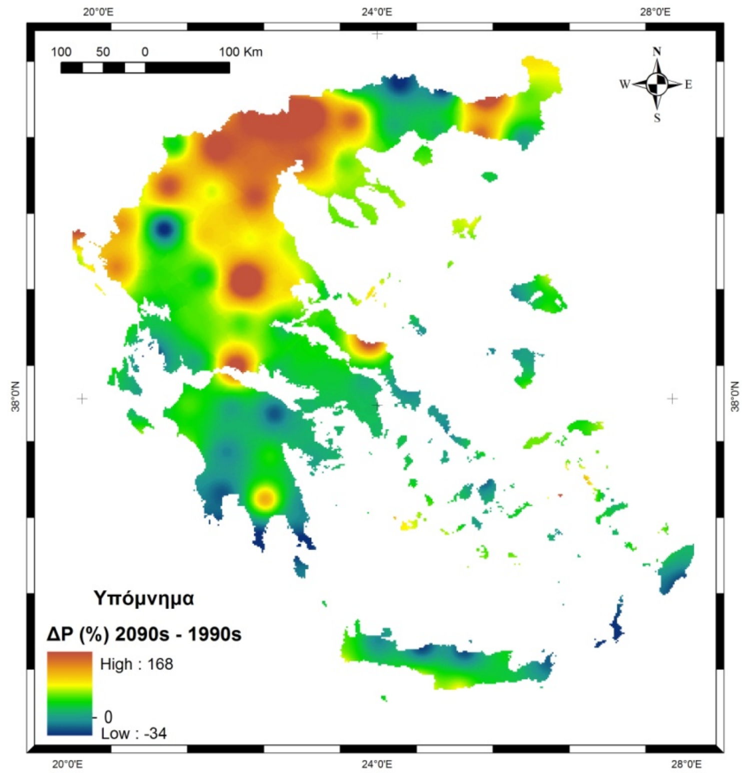
Πίνακας 13. Μέση μεταβολή (%) στην πιθανότητα υπέρβασης των ορίων βροχόπτωσης σε σχέση με την περίοδο ελέγχου (1990-1999).

Περίοδοι	Όρια έντασης βροχόπτωσης - διάρκειας	
	$I = 14 \times D^{-0.5}$ (α)	$I = 23.163 \times D^{-0.502}$ (β)
2040-2049	0.93	-2.31
2090-2099	32.9	27.4

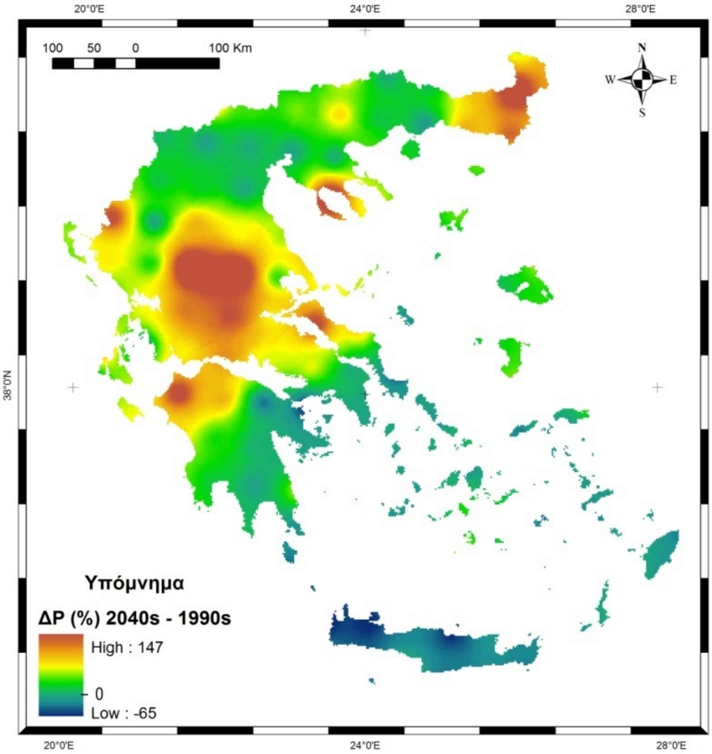
Αναλύοντας στο χώρο τη μεταβολή της πιθανότητας υπέρβασης των ορίων βροχόπτωσης προέκυψαν οι χάρτες των σχημάτων 28, 29, 30 και 31.



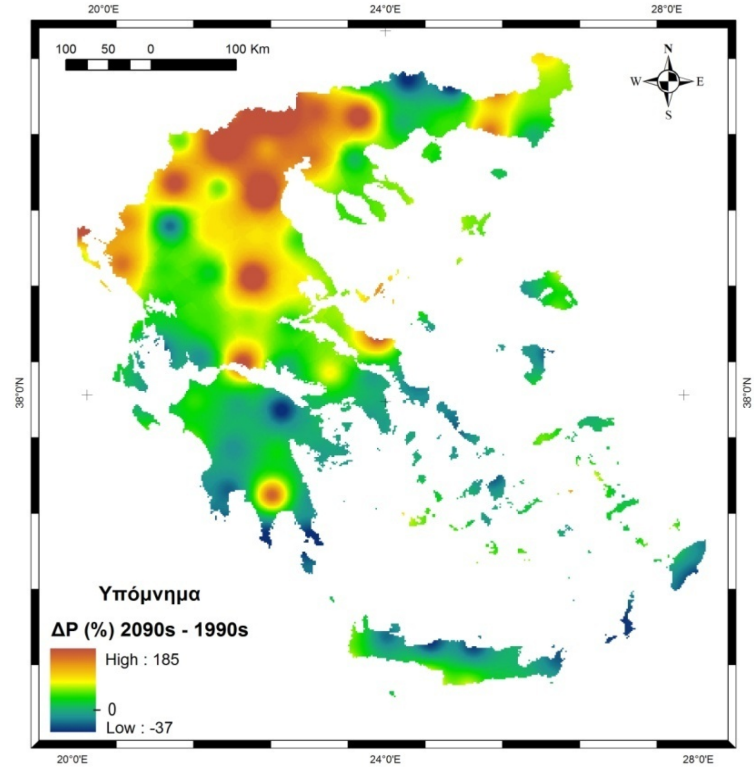
Σχήμα 28. Διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου βροχόπτωσης πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας. Ο χάρτης βασίζεται στο όριο $I = 14*D^{-0.5}$ και αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ των περιόδων 2040-2049 και 1990-1999.



Σχήμα 29. Διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου βροχόπτωσης πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας. Ο χάρτης βασίζεται στο όριο $I = 14*D^{-0.5}$ και αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ των περιόδων 2090-2099 και 1990-1999.



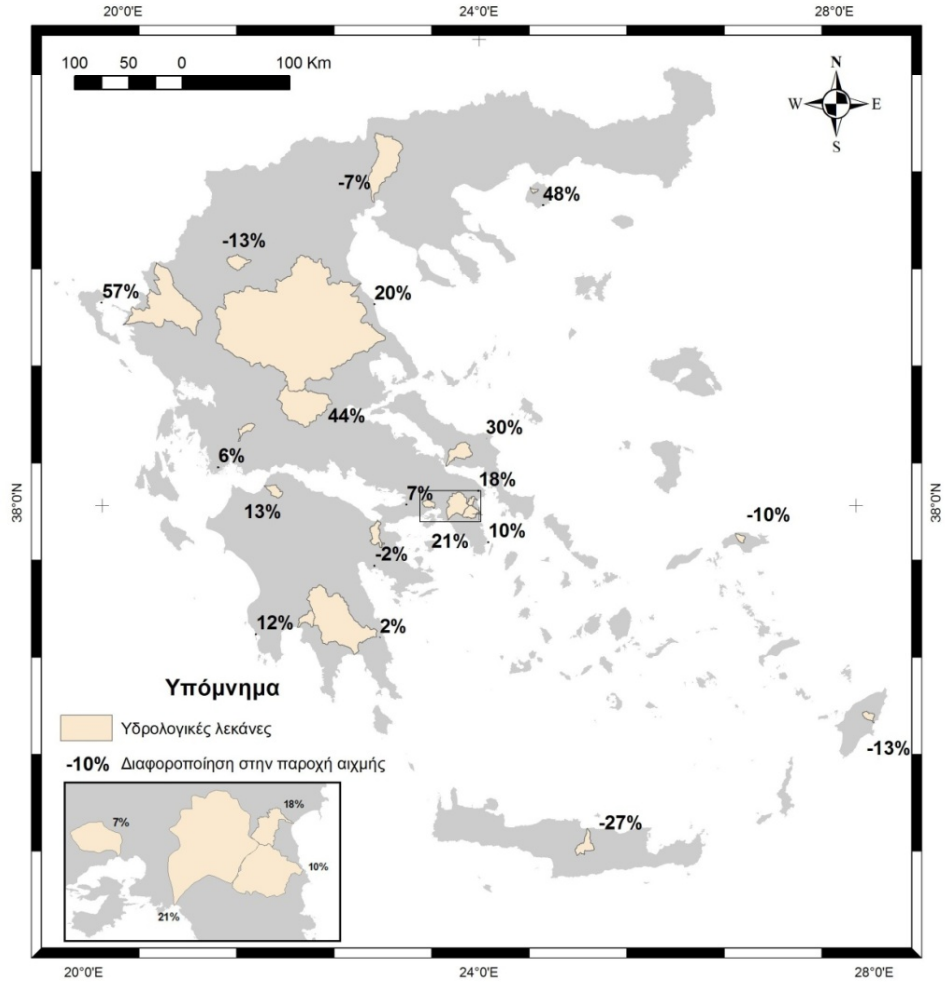
Σχήμα 30. Διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου βροχόπτωσης πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας. Ο χάρτης βασίζεται στο όριο $I = 23{,}163 \cdot D^{-0.502}$ και αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ των περιόδων 2040-2049 και 1990-1999.



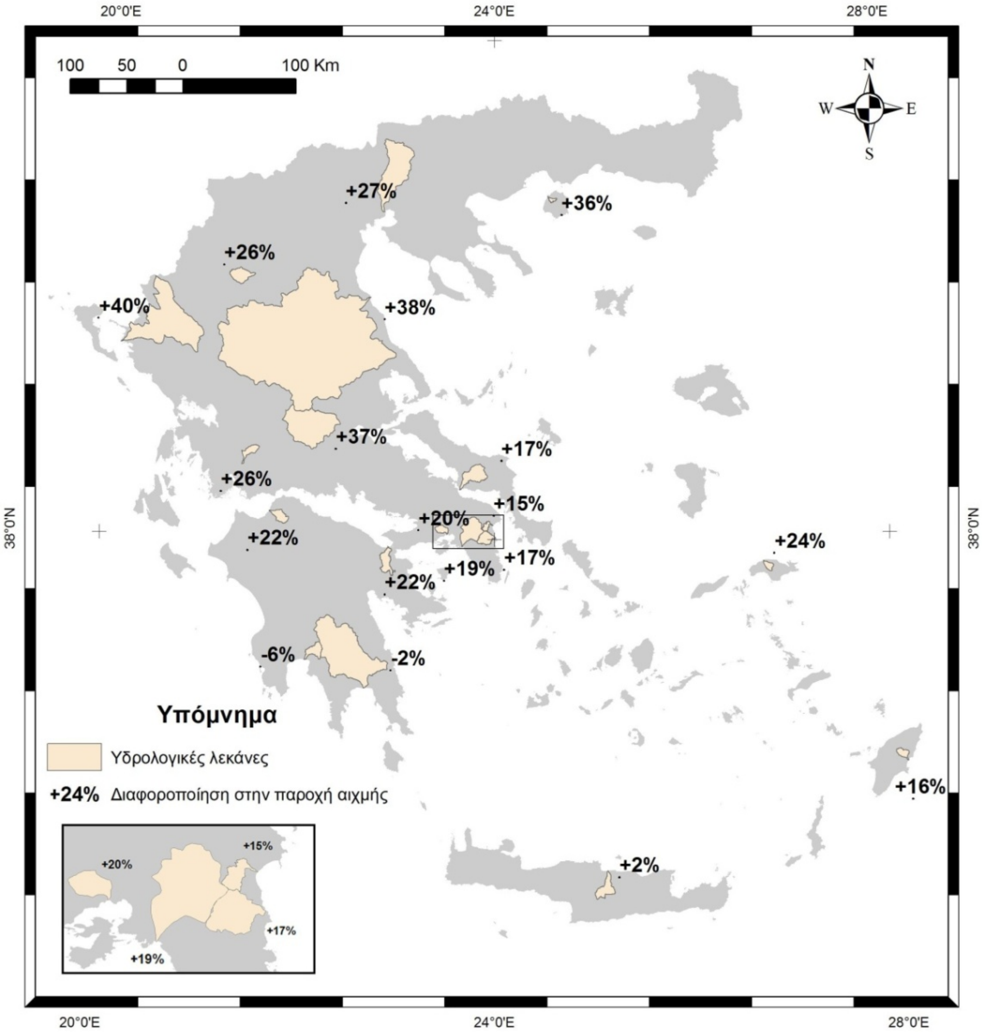
Σχήμα 31. Διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου βροχόπτωσης πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας. Ο χάρτης βασίζεται στο όριο $I = 23{,}163 * D^{-0.502}$ και αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ των περιόδων 2090-2099 και 1990-1999.

Από τη χωρική ανάλυση προκύπτει ότι την περίοδο 2040-2049 (σενάριο A1B) το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου να παρουσιασθεί στην Θεσσαλία, την Στερεά Ελλάδα (εκτός της Αττικής), στη βορειοδυτική Πελοπόννησο, τη Θράκη και την βόρεια Εύβοια. Κατά το ίδιο διάστημα παρουσιάζεται μείωση της πιθανότητας στην Κρήτη και τα Δωδεκάνησα (Σχήμα 28 και 30). Την περίοδο 2090-2099 (σενάριο A1B) η πιθανότητα αναμένεται το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης να παρουσιασθεί στην δυτική και κεντρική Μακεδονία, τη Θεσσαλία την κεντρική Εύβοια και τμήματα της Στερεάς Ελλάδας και της Θράκης, ενώ αναμένεται μείωση στα Δωδεκάνησα, τμήματα της νότιας Πελοποννήσου, της βόρειας Κρήτης και των Κυκλάδων.

Ακολούθως υπολογίσθηκε η διαφορά στην παροχή αιχμής σε 19 υδρολογικές λεκάνες στον Ελληνικό χώρο με τη μέθοδο προσομοίωσης του υδρογραφήματος του Sutcliffe (1978). Οι τιμές αναφέρονται στις διαφορές μεταξύ των δεκαετιών 1990-1999 με 2040-2049 (Σχήμα 32) αλλά και 1990-1999 με 2090-2099 (Σχήμα 33) μεταξύ των περιόδων μελέτης.



Σχήμα 32. Αλλαγή στην παροχή αιχμής της απορροής περιόδου επαναφοράς 5 ετών στις 19 υπό μελέτη υδρολογικές λεκάνες όπως υπολογίσθηκε με τη μέθοδο του Sutcliffe (1978). Οι τιμές αναφέρονται στις διαφορές μεταξύ των περιόδων 1990-1999 και 2040-2049 για το σενάριο A1B.

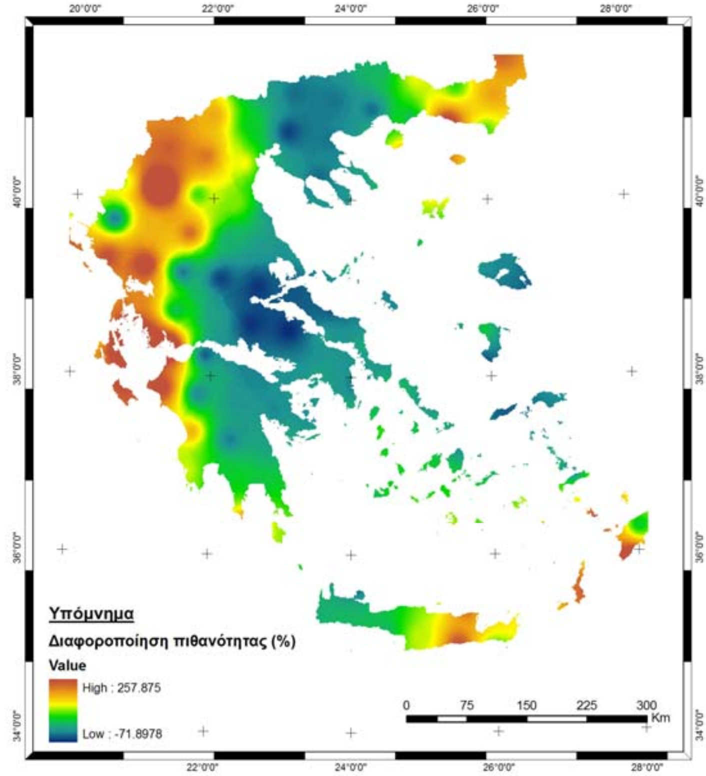


Σχήμα 33. Διαφοροποίηση στην παροχή αιχμής της απορροής περιόδου επαναφοράς 5 ετών στις 19 υπό μελέτη υδρολογικές λεκάνες όπως υπολογίσθηκε με τη μέθοδο του Sutcliffe (1978). Οι τιμές αναφέρονται στις διαφορές μεταξύ των περιόδων 1990-1999 και 2090-2099 για το σενάριο Α1Β.

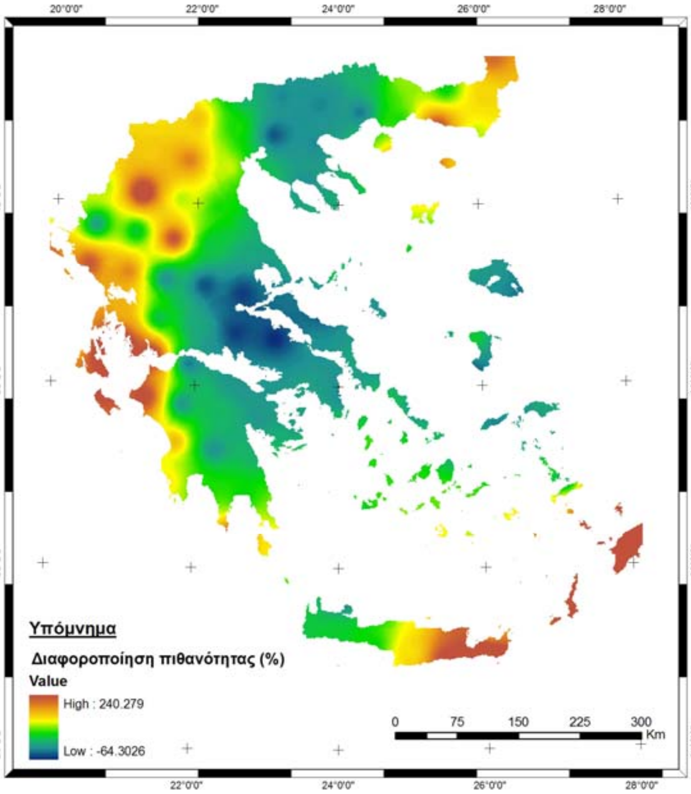
Για την περίοδο 2040-2049 προκύπτει δηλαδή αύξηση της παροχής αιχμής σε 13 από τις 19 λεκάνες ενώ την περίοδο 2090-2099 προκύπτει αύξηση σε όλες.

3.5.2 Σενάρια Α2 και Β2 (HadCM3)

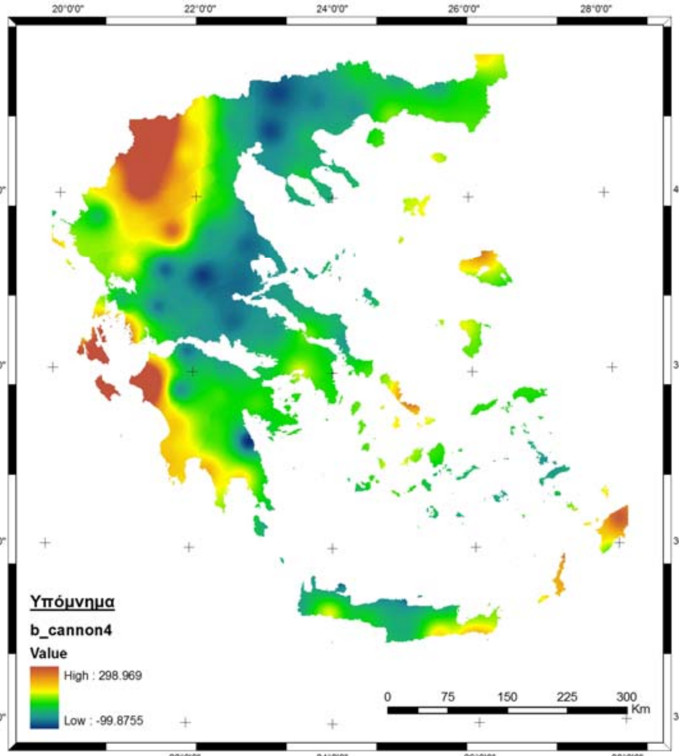
Για τα σενάρια Α2 και Β2 ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία. Εξετάσθηκε η πιθανότητα υπέρβασης των ορίων βροχόπτωσης πέρα από τα οποία προκύπτουν πλημμυρικά φαινόμενα (σχήματα 34, 35, 36 και 37)



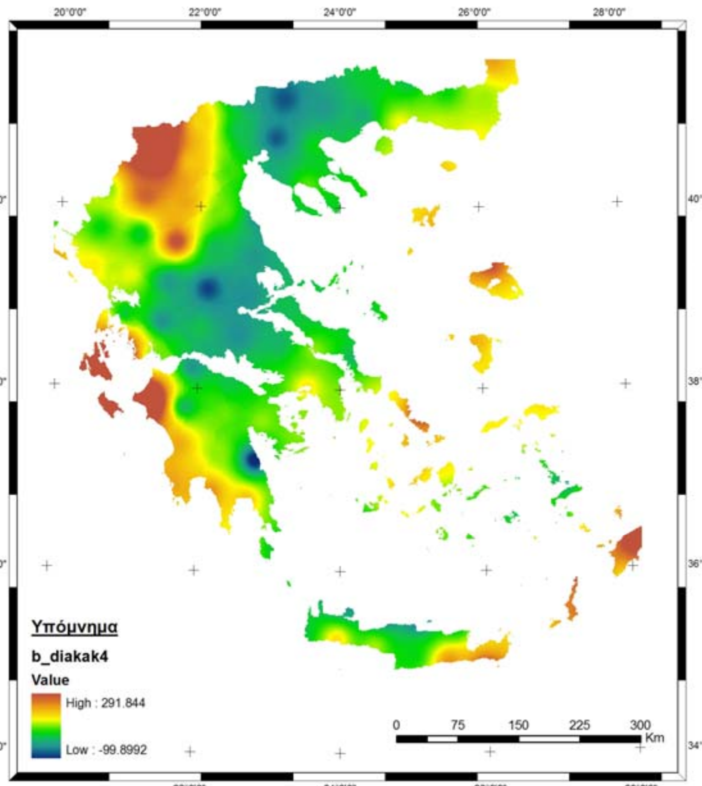
Σχήμα 34. Διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου βροχόπτωσης πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας. Ο χάρτης βασίζεται στο όριο $I = 14*D^{-0.5}$ και αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ των περιόδων 2070-2100 και 1960-1990 για το σενάριο Α2.



Σχήμα 35. Διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου βροχόπτωσης πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας. Ο χάρτης βασίζεται στο όριο Ι = 23,163*D$^{-0.502}$ και αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ των περιόδων 2070-2100 και 1960-1990 για το σενάριο Α2.

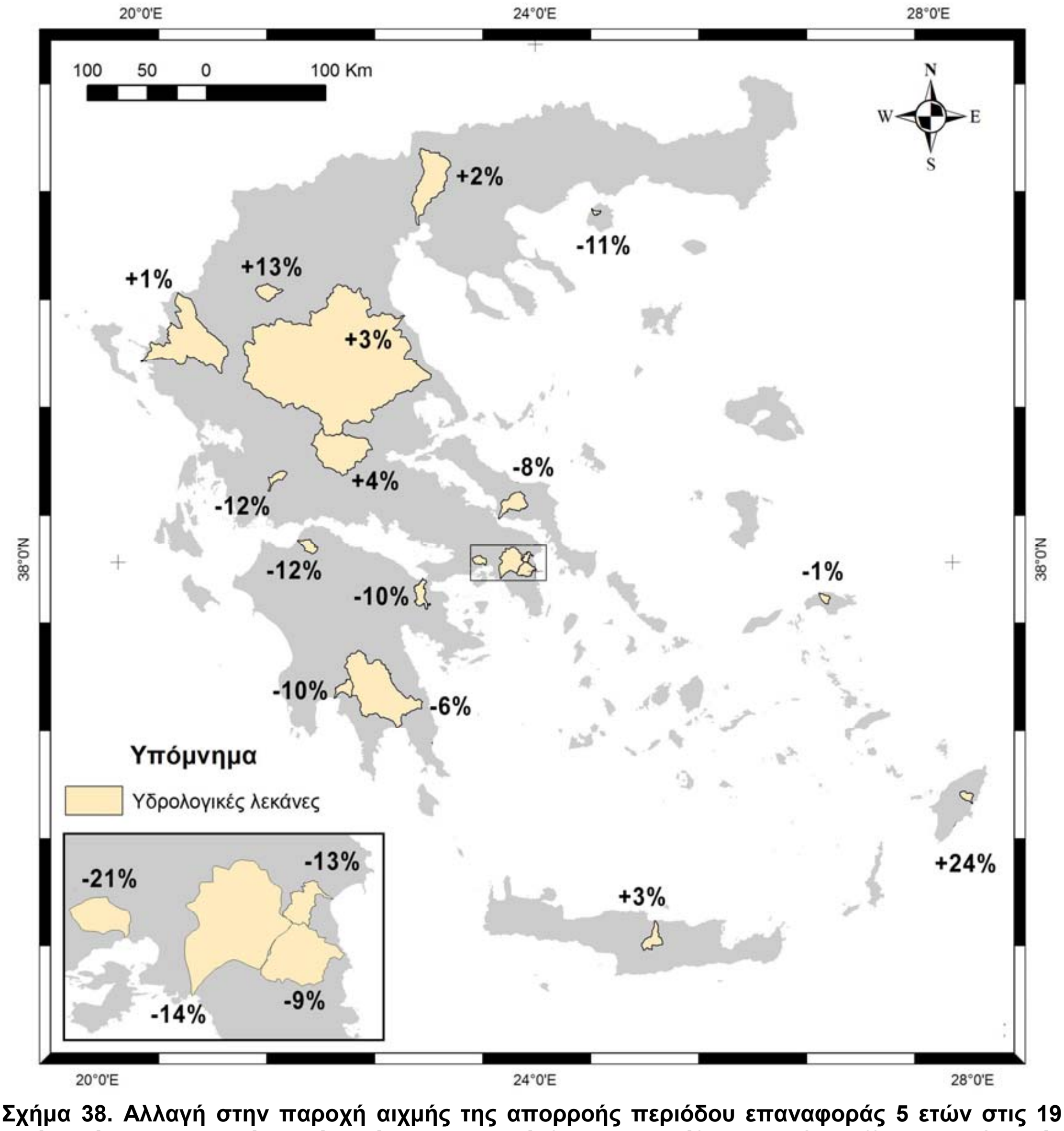


Σχήμα 36. Διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου βροχόπτωσης πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας. Ο χάρτης βασίζεται στο όριο $I = 14*D^{-0.5}$ και αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ των περιόδων 2070-2100 και 1960-1990 για το σενάριο Β2.

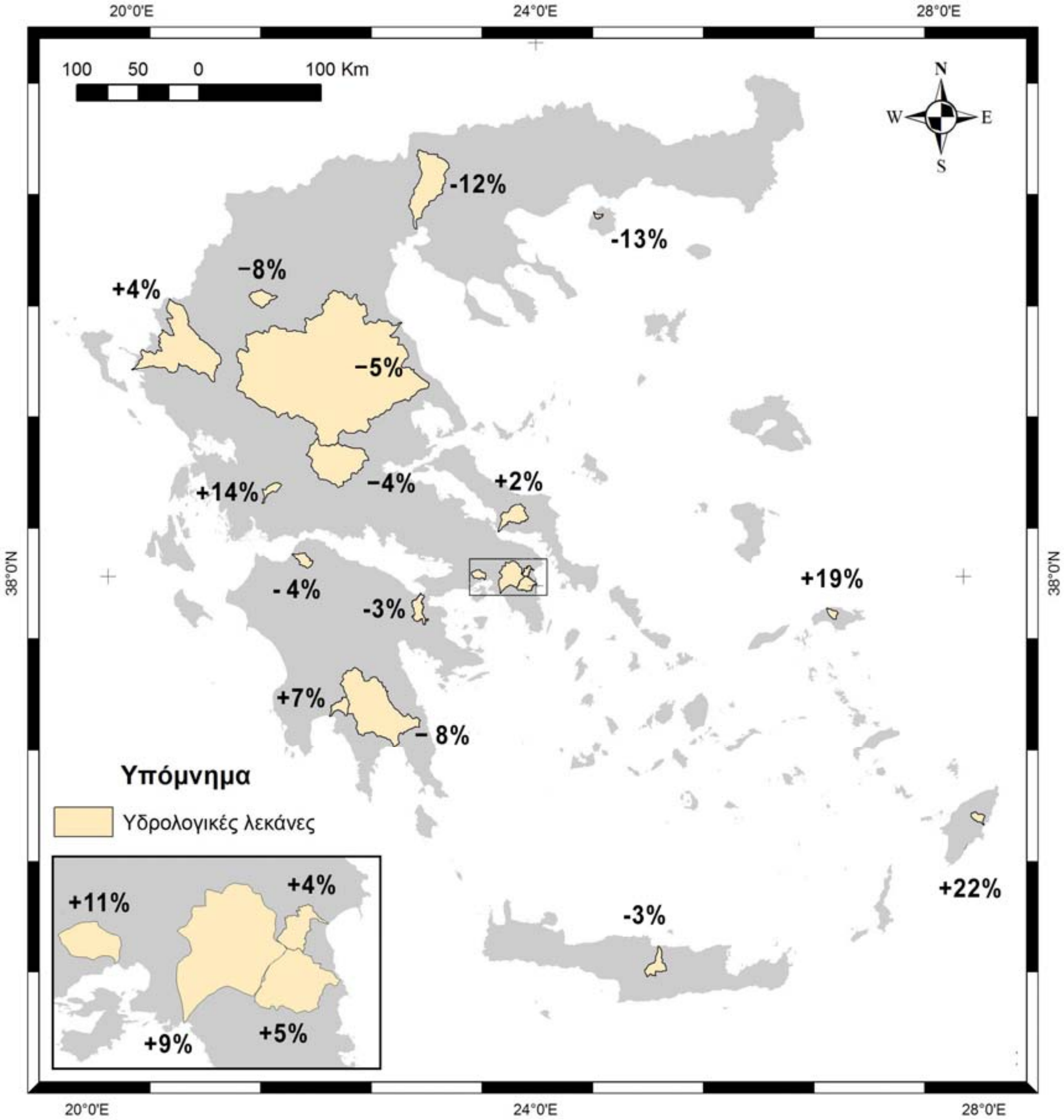


Σχήμα 37. Διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου βροχόπτωσης πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας. Ο χάρτης βασίζεται στο όριο $I = 23{,}163*D^{-0.502}$ και αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ των περιόδων 2070-2100 και 1960-1990 για το σενάριο Β2.

Παράλληλα εξετάσθηκε η διαφοροποίηση της παροχής αιχμής με περίοδο επαναφοράς 5 ετών στις επιλεγμένες υδρολογικές λεκάνες. Η μεταβολή αυτή αναφέρεται στις περιόδους 1960-1990 και 2070-2100 και παρουσιάζεται παρακάτω για τα σενάρια A2 και B2 του μοντέλου HadCM3 (σχήματα 38 & 39).



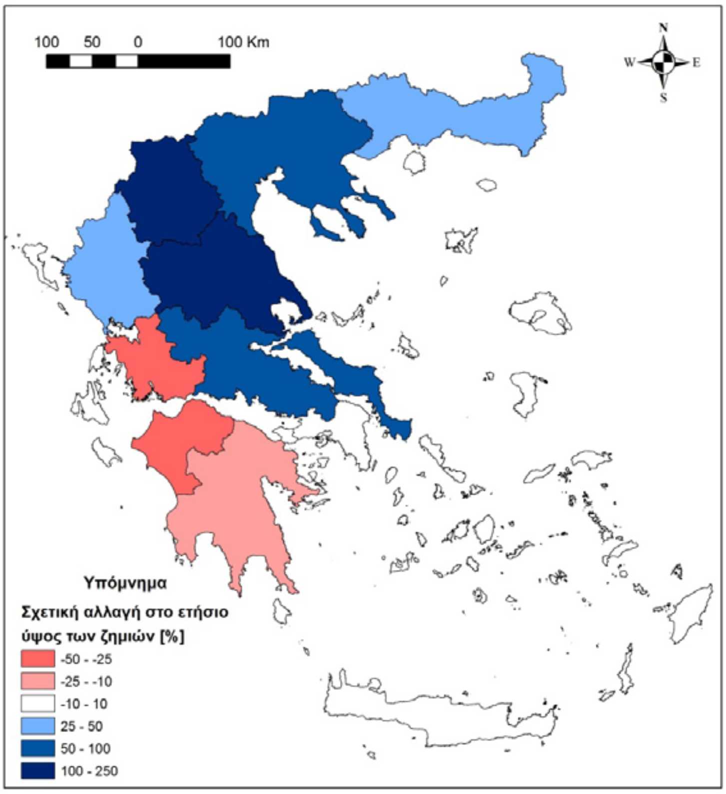
Σχήμα 38. Αλλαγή στην παροχή αιχμής της απορροής περιόδου επαναφοράς 5 ετών στις 19 υπό μελέτη υδρολογικές λεκάνες όπως υπολογίσθηκε με τη μέθοδο του Sutcliffe (1978). Οι τιμές αναφέρονται στις διαφορές μεταξύ των περιόδων 1960-1990 και 2070-2100 για το σενάριο A2 (HadCM3).



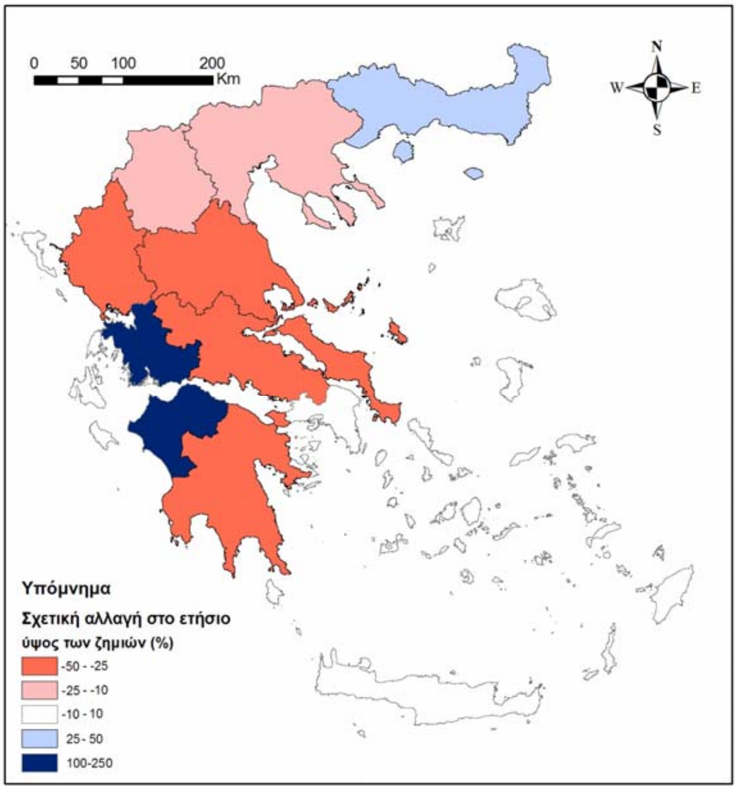
Σχήμα 39. Αλλαγή στην παροχή αιχμής της απορροής περιόδου επαναφοράς 5 ετών στις 19 υπό μελέτη υδρολογικές λεκάνες όπως υπολογίσθηκε με τη μέθοδο του Sutcliffe (1978). Οι τιμές αναφέρονται στις διαφορές μεταξύ των περιόδων 1960-1990 και 2070-2100 για το σενάριο B2 (HadCM3).

3.6 Οικονομικό κόστος πλημμυρών

Η αλλαγή στο καθεστώς εκδήλωσης πλημμυρών είναι αναπόφευκτο να έχει αντίκτυπο στη διακύμανση του κόστους των συσχετιζόμενων καταστροφών. Σύμφωνα με τους Ciscar et al (2009) το άμεσο κόστος των ζημιών από ποτάμιες πλημμύρες στον Ελληνικό χώρο θα αυξηθεί στη Στερεά Ελλάδα, τη Μακεδονία και κυρίως και τη Θεσσαλία, ενώ θα μειωθεί στην Πελοπόννησο και τη δυτική Στερεά (σενάριο A2 - HadCM3) (Σχήμα 40). Σύμφωνα με τους Ciscar et al (2009) για το σενάριο B2 το κόστος αναμένεται να αυξηθεί μόνο στη Δυτική Ελλάδα και την Θράκη ενώ οι υπόλοιπες περιοχές θα παρουσιάσουν μείωση (Σχήμα 41).



Σχήμα 40. Σχετική αλλαγή στο εκτιμώμενο ετήσιο ύψος άμεσων ζημιών από πλημμύρες σύμφωνα με το σενάριο Α2 μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100. Οι τιμές έχουν υπολογισθεί ως μέσοι όροι ανά διοικητική περιφέρεια (Ciscar et al 2009, τροποποιημένο).



Σχήμα 41. Σχετική αλλαγή στο εκτιμώμενο ετήσιο ύψος άμεσων ζημιών από πλημμύρες σύμφωνα με το σενάριο Β2 μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100. Οι τιμές έχουν υπολογισθεί ως μέσοι όροι ανά διοικητική περιφέρεια (Ciscar et al 2009, τροποποιημένο).

3.7 Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ανομοιογένεια στις μεταβολές των παροχών αιχμής των υδρολογικών λεκανών που μελετήθηκαν ανά σενάριο. Οι διαφοροποιήσεις αυτές είναι εκτεταμένες και εκτός από το εύρος των αλλαγών σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν να κάνουν και με το πρόσημο τους.

Σε ότι αφορά το σενάριο Α1Β και την περίοδο 2040-2049 προκύπτει αύξηση της παροχής αιχμής στην ηπειρωτική χώρα, εκτός από ένα τμήμα της Κεντρικής Μακεδονίας, τα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη.

Σε ότι αφορά την περίοδο 2090-2099 (σενάριο Α1Β) προκύπτει αύξηση στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας με εξαίρεση τη δυτική Πελοπόννησο.

Σε ότι αφορά το σενάριο Α2 (HadCM3) προκύπτει αύξηση των παροχών αιχμής και τους κόστους στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της χώρας και μείωση στην Πελοπόννησο, ενώ διαφαίνονται μικρές μεταβολές στα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη (Σχήμα 38).

Σε ότι αφορά το σενάριο B2 (HadCM3) προκύπτει μείωση των παροχών αιχμής και τους κόστους στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας με σημαντικές εξαιρέσεις τη δυτική Ελλάδα, και τον Έβρο καθώς και ορισμένα νησιά (Σχήμα 39).

Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζουν καλή συσχέτιση με τα συμπεράσματα των των Ciscar et al (2009) και Van der Knijff et al (2008).

Σε ότι αφορά την μεταβολή της πιθανότητας υπέρβασης των ορίων βροχόπτωσης (thresholds) προκύπτουν τα εξής:

- Για τα σενάρια A2 και B2 προκύπτει αύξηση της πιθανότητας στη δυτική Ελλάδα, τον Έβρο και τα Δωδεκάνησα. Μείωση διαφαίνεται κυρίως στην κεντρική Μακεδονία και την ανατολική Στερεά.
- Για το σενάριο A1B προκύπτει αύξηση στον κεντρικό χώρο (Θεσσαλία, Στερεά και κεντρική Μακεδονία) και τον Έβρο. Μείωση διαφαίνεται κυρίως στην Κρήτη και τα Δωδεκάνησα καθώς και στη νότια Πελοπόννησο.

Σε ότι αφορά τις μέσες μεταβολές της πιθανότητας υπέρβασης των ορίων της βροχόπτωσης αυτές παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ανάλογα με το σενάριο και το διάστημα υπό διερεύνηση. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι μέσες αυτές μεταβολές οι οποίες προκύπτουν εκτεταμένες κυρίως για την περίοδο προς το τέλος του αιώνα αλλά και εκεί υπάρχει σημαντική απόκλιση ανάλογα με τα σενάρια.

Πίνακας 14. Μέση μεταβολή (%) σε όλη την επικράτεια στην πιθανότητα υπέρβασης των ορίων βροχόπτωσης σε σχέση με τις αντίστοιχες περιόδους ελέγχου για τα αντίστοιχα κλιματικά σενάρια

Σενάριο	Περίοδοι	Μεταβολή πιθανότητας υπέρβασης ορίου βροχόπτωσης πέρα από το οποίο παρουσιάζεται αυξημένος πλημμυρικός κίνδυνος (%)
A1B	2040-2049	- 0,69 %
A1B	2090-2099	+ 30,15 %
A2	2070-2100	+ 24,7 %
B2	2070-2100	+ 6,45 %

Συνολικά από τα αποτελέσματα διαφαίνονται διαφορετικού είδους μεταβολές για κάθε περίοδο. Συνοπτικά για την περίοδο 2040-2049 προκύπτει:

- οριακή κατά μέσο όρο αύξηση του κινδύνου πλημμυρών
- οριακή μεταβολή κατά μέσο όρο της πιθανότητας υπέρβασης των ορίων (thresholds)
- μέσου εύρους αυξήσεις και μειώσεις κατά τόπους στη ραγδαιότητα και την πιθανότητα υπέρβασης
- μέσου και μεγάλου εύρους μεταβολές (μειώσεις και αυξήσεις) στις παροχές αιχμής των λεκανών που μελετήθηκαν

Για την περίοδο 2090-2099 προκύπτει:

- αύξηση κατά μέσο όρο του κινδύνου πλημμυρών
- αύξηση της πιθανότητας υπέρβασης των ορίων
- αύξηση της ραγδαιότητας (κατά τόπους σημαντική)
- μέσου και μεγάλου εύρους αυξήσεις στις παροχές αιχμής σε σχέση με την περίοδο ελέγχου.
- Σημαντικές διακυμάνσεις των τιμών των μεταβολών και εξάρτηση του εύρους των αλλαγών από τα σενάρια

Σχετικά με τα αποτελέσματα πρέπει να τονισθούν τα εξής:

1. Η έκταση των αλλαγών που προκύπτει στις παροχές αιχμής και στις εντάσεις της βροχόπτωσης πενταετίας, πρέπει να αντιμετωπισθεί με επιφύλαξη καθώς η στατιστική επεξεργασία παρουσιάζει αδυναμίες λόγω του περιορισμένου διαθέσιμου χρονικού διαστήματος.

2. Το πρόσημο των αλλαγών αυτών μπορεί να θεωρείται ένα από τα συμπαγή συμπεράσματα αυτής της μελέτης καθώς παρατηρείται σημαντική σύμπτωση στο σχετικό μοτίβο τόσο μεταξύ των διαφορετικών προσεγγίσεων αυτής της μελέτης όσο και σε άλλες προσεγγίσεις.

Από τα ανωτέρω εξάγεται το συμπέρασμα ότι για την περίοδο 2040-2049 είναι πιθανή η οριακή μεταβολή κατά μέσο όρο του στην επικράτεια και η κατά τόπους μέσες αυξήσεις του πλημμυρικού κινδύνου. Για την περίοδο 2090-2099 διαφαίνεται πιθανή η αύξηση του πλημμυρικού κινδύνου.

3.8 Βιβλιογραφία

Aaheim, A., F. Berkhout, D. McEvoy, R. Mechler, H. Neufeldt, A. Patt, P. Watkiss, A. Wreford, Z. Kundzewicz, C. Lavalle and C. Egenhofer (2008), Adaptation to Climate Change: Why is it needed and how can it be implemented?, CEPS Policy Brief No. 161,ADAM/CEPS, Brussels, May.

AcremanMC (1985) Predicting the mean annual flood from basin characteristics in Scotland. Hydrol Sci J 30:37-48.

Amadio P, Mancini M, Menduni G, Rabuffetti D, Ravazzani G (2003) A real-time flood forecasting system based on rainfall thresholds working on the Arno Watershed: definition and reliability analysis. In: Proceedings of the 5th EGS Plinius Conference held at Ajaccio, Corsica, France

Arnell, N.W. Global Warming, River Flows and Water Resources. Chichester, U.K. and New York: Wiley, 1996.

Barrera, A., M.C. Llasat and M. Barriendos, 2006: Estimation of extreme flash flood evolution in Barcelona County from 1351 to 2005. Nat. Haz. Earth Syst. Sci., 6, 505-518.

Behrens, A., A. Georgiev and M. Carraro (2010). "Future Impacts of Climate Change across Europe." CEPS Working Document No. 324.

Ciscar, J.-C. (ed.), A. Soria, C.M. Goodess, O.B. Christensen, A. Iglesias, L. Garrote, M.Moneo, M. Moreno, A. Pye, S., Quiroga, S. van Regemorter (2009), Climate change impacts in Europe: Final report of the PESETA research project, Joint Research Centre Scientific and Technical Report (EUR 24093 EN), European Commission, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, November.

Cyberski, J., Grzes, M., Gutry-Korycka, M., Nachlik, E. and Kundzewicz, Z.W. 2006. History of floods on the River Vistula. Journal des Sciences Hydrologiques 51: 799-817.

Day GN (1985) Extended stream flow forecasting using NWSRFS. J Water Resour Plan Manage 111(2):157–170

De Roo A, Gouweleeuw B, Thielen J, Bates P et al. (2003) Development of a European flood forecasting system. Int J River Basin Manage 1(1):49–59

Downton MW, Pielke RAJr. (2001) Discretion without accountability: politics, flood damage, and climate. Nat Hazards Rev 2(4):157–166

EEA, 2005: Climate change and river flooding in Europe. EEA Briefing, 1, 1-4.

Feyen, L., Dankers, R., Barredo, J. I., Kalas, M., Bódis, K., de Roo, A., Lavalle, C. (2006) PESETA, Projections of economic impacts of climate change in sectors of Europe based on bottom-up analysis, Flood risk in Europe in a changing climate European Commission, Directorate-General Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability Ispra, Italy, p. 20. EUR 22313 EN

Ganoulis J (2003). Risk-based floodplain management: A case study from Greece. Intl. J. RiverBasinManagementVol. 1, No. 1, pp. 41–47

Georgakakos KP (2006) Analytical results for operational flash flood guidance. J Hydrol 317:81–103

Golian S, Saghafian B, Maknoon R (2010) Derivation of Probabilistic Thresholds of Spatially Distributed Rainfall for Flood Forecasting. Water Resour Manage, doi: 10.1007/s11269-010-9619-7

Kleinen, T. and G. Petschel-Held, 2007: Integrated assessment of changes in flooding probabilities due to climate change. Climatic Change, 81, 283-312.

Koutsoyiannis D, Lazaridis L (1998) Flood study, Engineering report of the Korinthos sewer system, Study of the Xerias creek, Introductory part, Commissioner: Ministry of Environment, Planning and Public Works, Contractor: Ydroexigiantiki, 122 pages.

Kundzewicz, Z.W., U. Ulbrich, T. Brucher, D. Graczyk, A. Kruger, G.C. Leckebusch, L. Menzel, I. Pinskwar, M. Radziejewski and M. Szwed, 2005: Summer floods in central Europe: climate change track? Nat. Hazards, 36, 165-189.

Lehner, B., P. Döll, J. Alcamo, H. Henrichs and F. Kaspar, 2006: Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. Climatic Change, 75, 273-299.

Loukas A, Vasiliades L, Dalezios NR (2002) Potential climate change impacts on flood producing mechanisms in southern British Columbia, Canada using the CGCMA1 simulation results. Journal of Hydrology 259:163-188.

Martina MLV, Todini E, Libralon A (2006) A Bayesian decision approach to rainfall thresholds based flood warning. Hydrol Earth Syst Sci 10:413–426

MartiniF, LoatR (2007) Handbook on good practices for flood mapping in Europe. Paris/Bern: European exchange circle on flood mapping (EXCIMAP)

Martin-Vide JP, Ninerola D, Bateman A, Navarro A, Velasco E. 1999. Runoff and sediment transport in a torrential ephemeral stream of the Mediterranean coast. Journal of Hydrology 225: 118–129.

Milly PCD, Wetherald RT, Dunne KA, Delworth TL (2002) Increasing risk of great floods in a changing clime. Nature 415:514–517.

Mimikou M,Gordios J (1989) Regional analysis of the mean annual flood and of flood frequency characteristics. Proceedings of the Baltimore Symposium, May 1989, IAHS Publ. no. 181, 1989.

Mirza, MMQ, 2003: Three recent extreme floods in Bangladesh: a hydro-meteorological analysis. Nat. Hazards, 28, 35-64.

Munich Re (2002) Topics, an annual review of natural catastrophes. Munich Reinsurance Company Publications, Munich

Muzik I (2002) A first order analysis of the climate change effect on flood frequencies in a subalpine watershed by means of a hydrological rainfall-runoff model. Journal of Hydrology 267:65-73.

Norbiato D, Borga M, Esposti SD, Gaume E, Anquetin S (2008) Flash flood warning based on rainfall thresholds and soil moisture conditions: an assessment for gauged and ungauged basins. J Hydrology 362:274–290

Ntelekos AA, Goergakakos KP, Krajewski WF (2006) On the uncertainties of flash flood guidance: towards probabilistic forecasting of flash floods. J Hydrometeorol 7(5):896–915

Palmer, T.N. and J. Räisänen, 2002: Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. Nature, 415, 512-514.

Panagoulia D (1991) Hydrological response of a medium-sized mountainous catchment to climate changes. Hydrological Sciences Journal, 36:525-547.

Panagoulia D (1992) Impacts of GISS-modelled climate changes on catchment hydrology. Hydrological Sciences Journal 37:141-163.

Panagoulia D, Dimou G (1997) Sensitivity of flood events to global climate change. Journal of hydrology 191:208-222.

Pilon PJ (2004) Guidelines for reducing flood losses. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR), Palais des Nations, Ch 1211 Geneva, Switzerland

Reynard, N., S. Crooks, R. Wilby and A. Kay, 2004: Climate Change and Flood Frequency in the UK, Proceedings of the 39th DEFRA Flood and Coastal Management Conference, York. Defra, London, 11.1.1-11.1.12.

Rosenzweig, C., G. Casassa, D.J. Karoly, A. Imeson, C. Liu, A. Menzel, S. Rawlins, T.L. Root, B. Seguin, P. Tryjanowski, 2007: Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 79-131.

SCS Soil Conservation Service (1973) A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds. SCS-TR 149. Kent, K.M

Smith K, Ward R (1998) Floods – physical processes and human impacts, John Wiley and Sons, Chichester.

Smith, L.C., 2000: Trends in Russian Arctic river-ice formation and breakup, 1917 to 1994. Phys. Geogr., 21, 46-56

Stathis D (2004) Extreme rainfall-events and flood-genesis in Greece, In: 7PGC/HGS: 1-8,Oct 2004.

Sutcliffe, J. V.. 1978 Methods of flood estimation: a guide to the Flood Studies Report. Wallingford, Institute of Hydrology, 50pp.

Thielen J, Bartholmes J, Ramos M-H, de Roo A (2009) The European Flood Alert System—part 1: concepts and development. Hydrol Earth Syst Sci 13:125–140

Wetherald, R. T., and S. Manabe (2002), Simulation of hydrologic changes associated with global warming, J. Geophys. Res., 107(D19), 4379, doi:10.1029/2001JD001195.

Wilbanks, T.J., P. Romero Lankao, M. Bao, F. Berkhout, S. Cairncross, J.-P. Ceron, M. Kapshe, R. Muir-Wood and R. Zapata-Marti, 2007: Industry, settlement and society. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 357-390.

Ανδρεαδάκης Ε, Φουντούλης Ι (2007) Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας σε τεκτονικά ενεργές περιοχές. Συμπόσιο τεκτονικής γεωλογίας προς τιμή του Ομότιμου Καθηγητή Ηλία Μαριολάκου της Επιτροπής Τεκτονικής της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 7 Δεκεμβρίου 2007.

Διακάκης Μ (υπό δημοσίευση) Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας με μεθόδους προσομοίωσης. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Λέκκας Ε(2000) Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές. Β' Έκδοση. Access Pre-Press,Αθήνα.

ΜατάκουΕ (2009)Καταγραφή και αποτύπωση σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (G.I.S.)των υπαρχόντων στοιχείων των σεισμών, πλημμυρών και πυρκαγιών στον Ελλαδικό χώρο κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα. Διατριβή Ειδίκευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών - Σχολή Θετικών Επιστημών - Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Μπαλούτσος Γ, Κουτσογιάννης Δ., Οικονόμου Α και Καλλίρης Π (2000)Διερεύνηση της απόκρισης της λεκάνης απορροής Ξηριά Κορίνθου στην καταιγίδα της11-13 Ιανουαρίου 1997 με τη μέθοδο SCS. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, 11(1): 77-90.

Νικολαΐδου Μ, Χατζηχρίστου Ε (1995) Καταγραφή και αποτίμηση των καταστροφών από πλημμύρες στην Ελλάδα και την Κύπρο. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλασσίων Έργων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνειο.

4. Πυρκαγιές και κλιματική αλλαγή

4.1 Εισαγωγή

Η ανάπτυξη ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε περιοχές που γειτνιάζουν με δάση και η εξάπλωση των ζωνών μίξης δασών-οικισμών τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αυξήσει την έκθεση της ανθρώπινης ζωής και των περιουσιών σε κίνδυνο.

Οι πυρκαγιές αποτελούν μια από τις σημαντικότερες φυσικές καταστροφές στον Ελληνικό χώρο και γενικότερα σε περιοχές με Μεσογειακού τύπου οικοσυστήματα (Salas και Chuvieco 1994). Παράλληλα οι πυρκαγιές αποτελούν και ένα σημαντικό παράγοντα στην εξέλιξη των μεσογειακών οικοσυστημάτων των οποίων αποτελούν βασικό στοιχείο και φυσικό μηχανισμό λειτουργίας(Tsitsoni 1997; Thanos και Marcou 1991; Thanos et al 1996).

Ουσιαστικό βήμα για την καταπολέμηση του κινδύνου πυρκαγιάς είναι η εξακρίβωση των αιτίων και των παραγόντων που τις προκαλούν. Τα συνήθη αίτια έναρξης μιας πυρκαγιάς διακρίνονται σε τυχαία φυσικά γεγονότα (π.χ. κεραυνός, ανάφλεξη φυτικής ύλης κ.α.) και ανθρωπογενή (εμπρησμοί, βολές στρατού, καύση αγρών ή απορριμμάτων, βραχυκυκλώματα, ανάφλεξη απορριμμάτων, εργασίες υπαίθρου κ.α.).

Οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών είναι πολύ σημαντικές για τα οικοσυστήματα. Σύμφωνα με τους Singer και Schullery (1989) τέτοια συμβάντα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στον πληθυσμό και παραγωγικότητα των διαφόρων κοινοτήτων της πανίδας. Από την άλλη πλευρά η συμπεριφορά της πυρκαγιάς, η ποσότητα της καύσιμης ύλης που αποτεφρώθηκε και η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την θνησιμότητα των φυτικών συστημάτων και τη μετέπειτα ανάκαμψή τους. Αντίστοιχα, σημαντικές είναι οι επιπτώσεις των πυρκαγιών στις ανθρώπινες κοινωνίες θέτοντας σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές και περιουσίες.

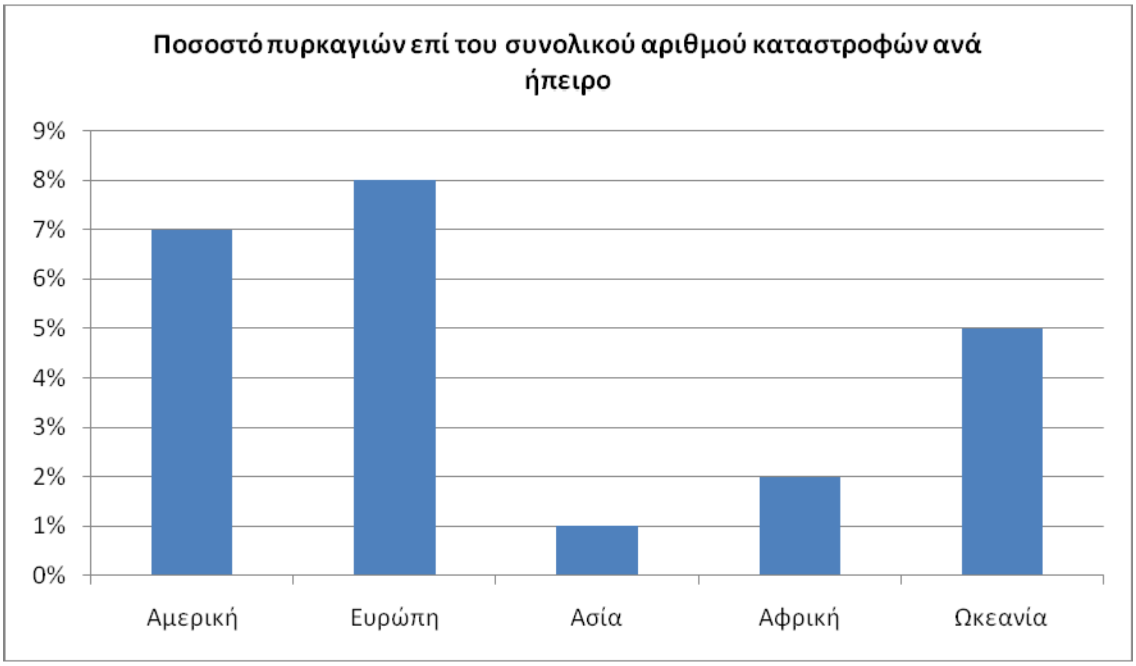
Σε παγκόσμιο επίπεδο οι καταστροφές που συνδέονται με δασικές πυρκαγιές καταλαμβάνουν το 3,4% από τον συνολικό αριθμό καταστροφών για την περίοδο 1970-2005 (UNISDR 2010).

Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη (UNISDR 2010) τα περισσότερα συμβάντα κατά την περίοδο 1991-2005 καταγράφονται στη βόρεια Αμερική και τη νότια Ευρώπη ενώ οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις συμβάντων παρουσιάζονται σε περιοχές με Μεσογειακό κλίμα (Πίνακας 15 και σχήμα 44).

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα και διεργασίες και στον Μεσογειακό χώρο (Fernandezetal 1997; Iliadisetal. 2005) κυρίως σε ότι αφορά τις επιπτώσεις τους στην οικολογία αλλά και το σημαντικό κόστος τους σε περιουσίες και ανθρώπινες ζωές. Παράλληλα, η εκτεταμένη καταστροφή δασικών εκτάσεων έχει έμμεσες επιπτώσεις στην εκδήλωση κατολισθητικών και πλημμυρικών φαινομένων (Iliadisetal. 2005, Papanikolaouetal. inpress).

Πίνακας 15. Κατανομή πυρκαγιών ανά ήπειρο (UNISDR 2010).

Περιοχή	Αριθμός Μεγάλων Πυρκαγιών (1991-2005)	Ποσοστό	Περιοχή	Αριθμός Μεγάλων Πυρκαγιών (1991-2005)	Ποσοστό
Αφρική					
Ανατολική Αφρική	2	1.0%	Ασία		
Κεντρική Αφρική	2	1.0%	Ανατολική Ασία	8	4.1%
Βόρεια Αφρική	2	1.0%	Νότια Κεντρική Ασία	7	3.6%
Νότια Αφρική	7	3.6%	Νοτιοανατολική Ασία	13	6.6%
Δυτική Αφρική	2	1.0%	Δυτική Ασία	5	2.6%
Υποσύνολο	**15**	**7.7%**	**Υποσύνολο**	**33**	**16.8%**
Αμερική			Ευρώπη		
Καραϊβική	2	1.0%	Ανατολική Ευρώπη	23	11.7%
Κεντρική Αμερική	7	3.6%	Βόρεια Ευρώπη		0.0%
Βόρεια Αμερική	56	28.6%	Νότια Ευρώπη	25	12.8%
Νότια Αμερική	20	10.2%	Δυτική Ευρώπη	3	1.5%
Υποσύνολο	**85**	**43.4%**	**Υποσύνολο**	**51**	**26.0%**
Ωκεανία		0.0%			
Αυστραλία	12	6.1%			
Μικρονησία		0.0%			
Πολυνησία		0.0%			
Υποσύνολο	**12**	**6.1%**			
			Γενικό Σύνολο	**196**	**100.0%**



Σχήμα 42. Ποσοστό πυρκαγιών επί του συνολικού αριθμού καταστροφών ανά ήπειρο.

Μια σειρά από ιδιαίτερα κλιματικά χαρακτηριστικά όπως η ξηρασία, οι υψηλές θερμοκρασίες κατά τους θερινούς μήνες, η χαμηλή υγρασία αέρα και οι τοπικοί θερινοί άνεμοι ενισχύουν την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιών στο Μεσογειακό χώρο (LeHouérou 1987; Tsitsoni 1997). Παράλληλα, το είδος και η φύση της βλάστησης (σκληροφυλλική και δάση κωνοφόρων) αλλά και το έντονο ανάγλυφο οδηγούν και αυτά στην ενίσχυση του κινδύνου πυρκαγιάς (LeHouérou 1987)

Επίσης, η αυξημένη πληθυσμιακή πυκνότητα (ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες) οδηγεί σε σημαντική αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (SanMiguelAyanzetal 2003)

Κατάτους Pausas and Vallejo (1999) καιτους Houghton et al. (2001) τις τελευταίες δεκαετίες οι πυρκαγιές στο Μεσογειακό χώρο παρουσιάζουν αύξηση. Σύμφωνα με τον LeHouérou (1987) στη Μεσόγειο σημαντική αύξηση στο εμβαδόν των καμένων εκτάσεων ανά έτος παρατηρείται ήδη από το 1960 (Πίνακας 16).

Πίνακας 16. Καμένη έκταση ανά έτος σε τρεις υπό μελέτη περιόδους.

Περίοδος	1960-71	1975-80	1981-85
Μέση καμένη έκταση ανά έτος (Km^2)	200	470	660

Σύμφωνα με τον Velez (1997) τα τελευταία χρόνια περίπου 50.000 πυρκαγιές παρουσιάζονται ετησίως στις χώρες γύρω από τη Μεσόγειο κατακαίγοντας 700 έως 1000 Km^2.

Η εκδήλωση πυρκαγιών εξαρτάται από μια σειρά από παράγοντες που σχετίζονται με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των δασών, τις κλιματικές παραμέτρους και τη γεωμορφολογία (Πίνακας 17).

Πίνακας 17. Σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το καθεστώς εκδήλωσης πυρκαγιών (Xanthopoulos 2003).

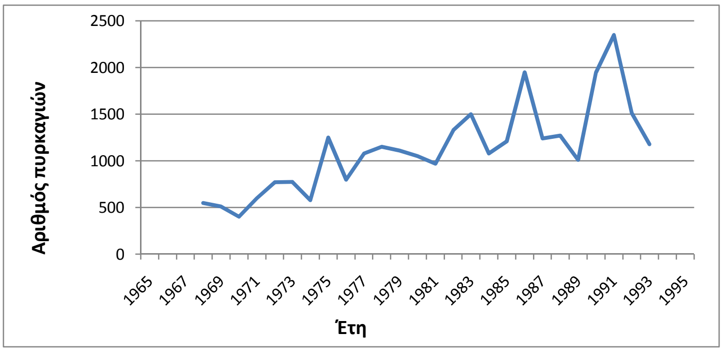
- Συμπεριφορά πυρκαγιάς
- Καύσιμα
  - Υγρασία καυσίμων
- Κλίμα – Καιρικές συνθήκες
  - Θερμοκρασία
  - Υγρασία αέρα
  - Άνεμος (χαρακτηριστικά, διεύθυνση)
- Τοπογραφία
  - Κλίση πρανών
  - Προσανατολισμός πρανών
  - Υψόμετρο
- Πληθυσμιακή πυκνότητα
- Τρωτότητα των κατασκευών
  - Θέση, σχεδίαση
  - Υλικά κατασκευής (εύφλεκτα υλικά εντός και εκτός κατασκευής)
  - Δυνατότητα κατάσβεσης της πυρκαγιάς

Η διακύμανση των κλιματικών παραμέτρων επηρεάζει πολλούς από αυτούς τους παράγοντες και επομένως την δριμύτητα των φαινομένων κατά την περίοδο πυρκαγιών. Μάλιστα, οι McKenzie et al (2004) και οι Westerling et al (2003) υποστηρίζουν ότι η μεταβλητότητα του κλίματος θα πρέπει να θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας επηρεασμού των μεγάλων πυρκαγιών,εξαιρουμένων φυσικά εκείνων των συμβάντων που οφείλονται σε εμπρησμούς (Markalas 1990)

Το μεγάλο οικονομικό κόστος και οι εξαιρετικά σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις δημιουργούν συνεχή ζήτηση για ολοένα αποδοτικότερη διαχείριση των κινδύνων πυρκαγιάς (Good και McRae 1989). Η εξάρτησή τους από το κλίμα καθιστά τις πυρκαγιές ευάλωτες σε μια ενδεχόμενη αλλαγή των κλιματικών παραμέτρων.

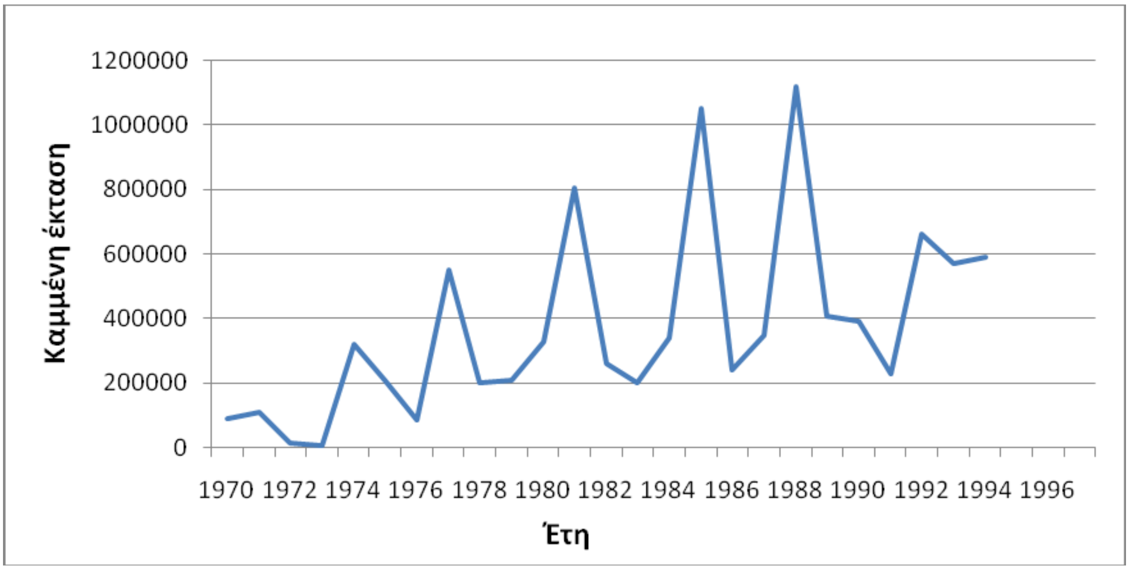
4.2 Πυρκαγιές στον Ελληνικό χώρο

Οι δασικές πυρκαγιές στον Ελληνικό χώρο έχουν κατά τις τελευταίες δεκαετίες αυξηθεί σημαντικά επιφέροντας σημαντικές επιπτώσεις στο κοινωνικό σύνολο αλλά και στα δασικά οικοσυστήματα (Lekakis 1995). Σύμφωνα με τον Dimitrakopoulos (1994) στην Ελλάδα καταγράφεται η μεγαλύτερη μέση καμμένη έκταση ανά πυρκαγιά μεταξύ των μεσογειακών χωρών. Εκτιμάται ότι η έκταση αυτή είναι 39.4 για τον Ελληνικό χώρο, 28.5 για την Ισπανια, 19.74 για την Ιταλία και 15.29 για την Πορτογαλία (Dimitrakopoulos 1994).Σύμφωνα με τον Iliadis (2002) παρατηρείται αύξηση στη συχνότητα των πυρκαγιών την περίοδο 1970-1994 (σχήματα 45 και 46).



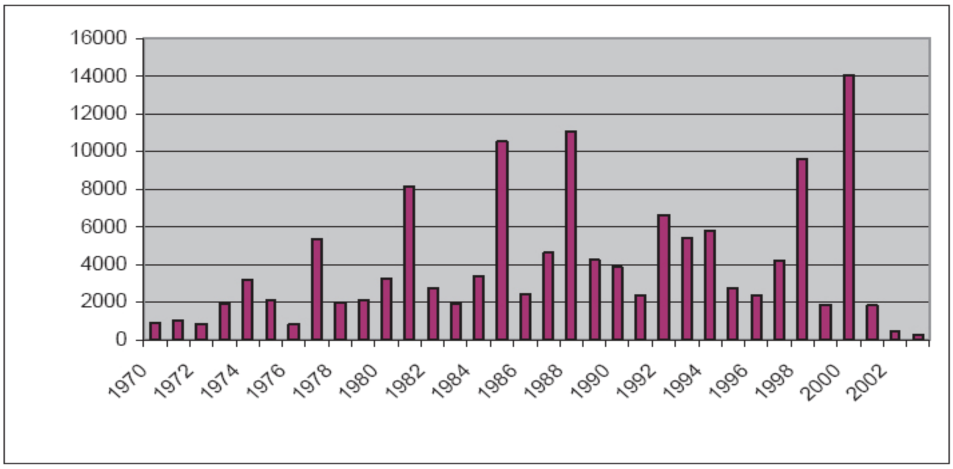
Σχήμα 43. Αριθμός δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα μεταξύ 1970 και 1994 (Iliadis 2002).

Σύμφωνα με τον Iliadis (2002) στον κατά την περίοδο 1955–1964 ο μέσος αριθμός πυρκαγιών στον Ελληνικό χώρο ήταν 637,8. Κατά την περίοδο 1965-1974 κυμάνθηκε στα ίδια περίπου επίπεδα (654,8) παραμένοντας χαμηλότερα από τα 700 γεγονότα για σχεδόν μια εικοσαετία. Αντίθετα μετά το 1974 την περίοδο 1975–1984 ο μέσος αριθμός πυρκαγιών ανά έτος εκτινάχθηκε στα 1018, ενώ την περίοδο 1985–1994 οι πυρκαγιές έφτασαν τις 1547 ανά έτος.



Σχήμα 44. Συνολική καμένη έκταση στον ελληνικό χώρο ανά έτος για την περίοδο 1970-1994 (Iliadisetal 2002).

Αύξηση των καμένων εκτάσεων καταγράφεται και από τον Xanthopoulos (2008)



Σχήμα 45. Έκταση καμένων εκτάσεων (σε εκτάρια) ανά έτος στον ελληνικό χώρο Xanthopoulos (2008)

Εξάλλου οι πυρκαγιές είναι αναπόσπαστο κομμάτι των δασικών συστημάτων στο Μεσογειακό χώρο. Σύμφωνα με τον Xanthopoulos (2003) ο συνολικός αριθμός των πυρκαγιών που καταγράφηκαν την περίοδο 1983-1993 στον Ελληνικό χώρο ανήλθε σε 16020 περιστατικά (περίπου 1600 ανά έτος). Ο μήνας με τις λιγότερες πυρκαγιές βρέθηκε να είναι ο Δεκέμβριος ενώ οι περισσότερες πυρκαγιές εμφανίστηκαν τον Αύγουστο (0,276 πυρκαγιές ανά 1000 εκτάρια ανά 10 έτη).

Ανάμεσα στις ιδιαιτερότητες του Ελληνικού χώρου που σχετίζονται με τις πυρκαγιές είναι τα εξής:

- Ζεστά καλοκαίρια (Επηρεάζουν τη θερμοκρασία του αέρα και της καύσιμης ύλης και την υγρασία)
- Ξηρά καλοκαίρια. (Απουσία κατακρημνισμάτων και υγρασίας τα οποία επηρεάζουν την σχετική υγρασία του αέρα και της καύσιμης ύλης)
- Ισχυροί καλοκαιρινοί άνεμοι (Επηρεάζουν την σχετική υγρασία και την διάδοση της πυρκαγιάς)
- Έντονη τοπογραφία η οποία βοηθάει τη μετάδοση της φωτιάς και δυσχεραίνει την κατάσβεση)
- Εύφλεκτη βλάστηση και ιδιαίτερες φυτοκοινωνίες

Η ψηφιακή χαρτογράφηση του κινδύνου σε μεγάλη κλίμακα αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων για την πρόληψη των δασικών πυρκαγιών στις τοπικές πυροσβεστικές και πολιτειακές αρχές της Ελλάδας οι οποίες με το υπάρχον θεσμικό και νομοθετικό πλαίσιο έχουν αναλάβει το παραπάνω έργο. Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχει ένα θεσμοθετημένο σύστημα εκτίμησης κινδύνου πυρκαγιών σε επίπεδο δασαρχείου. Προετοιμάζεται και εκδίδεται καθημερινά από τον επίσημο φορέα αντιμετώπισης των φυσικών καταστροφών, τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας (ΓΓΠΠ). Η πρόγνωση από τη ΓΓΠΠ βασίζεται σε μετεωρολογικές προβλέψεις διαφόρων ελληνικών προγνωστικών μοντέλων ενώ η κατάσταση της βλάστηστς εκτιμάτεαι μέσω του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NVDI).

4.3 Πυρκαγιές και κλιματική αλλαγή

Σύμφωνα με τους Liu et al (2009) η τάση προς ξηρότερα και θερμότερα κλίματα που μπορεί να προκύψει από την κλιματική αλλαγή, θα οδηγήσει πιθανόν σε αύξηση του αριθμού των πυρκαγιών, θα εντείνει την συμπεριφορά τους και επομένως την επιρροή τους στα δασικά οικοσυστήματα.

Σύμφωνα με τους Rosenzweig et al (2007) οι παρατηρημένες τάσεις στην εκδήλωση δασικών πυρκαγιών δεν μπορούν να θεωρούνται ξεκάθαρες ακόμα.

Οι Cannell et al. (1999) υποστήριξαν ότι η αυξητική τάση που παρατηρήθηκε σε μικρές πυρκαγιές στην Βρετανία πιθανόν να οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας και τη μείωση της υγρασίας των καλοκαιρινών μηνών.

Σημαντικές πυρκαγιές στη Μεσόγειο, βόρεια Αφρική και την Καλιφόρνια έχουν συνδεθεί με επεισόδια ξηρασίας (Rosenzweig et al 2007). Οι Gillet et al (2004)μελετώντας της δασικές πυρκαγιές στη βόρεια Αμερική διαπίστωσαν ότι υπάρχει σύμπτωση σε ένα βαθμό μεταξύ της αύξησης των καμένων εκτάσεων και των κλιματικών παραμέτρων που προκύπτουν από τα Μοντέλα Γενική Κυκλοφορίας. Παράλληλα οι Westerling et al (2006) υποστηρίζουν και εκείνοι ότι παρατηρείται αύξηση στις πυρκαγιές στη βόρεια Αμερική και πως συνδυάζεται με αυξημένες θερμοκρασίες κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι.

Σύμφωνα με τους Tapper, (2000) και τους Williams et al. (2001) είναι πιθανόν η αύξηση του κινδύνου πυρκαγιών στην Αυστραλιανή ήπειρο να συνδυαστεί με αυξημένη ένταση και ταχύτερη εξάπλωση τους.

Σύμφωνα με τον Hennessy et al (2007) η συχνότητα των ημερών υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου στην Αυστραλία θα αυξηθεί κατά 4-25% μέχρι το 2020 και 15-70% έως το 2050.

Στην Ασία σύμφωνα με τους Achard et al (2005) τα τελευταία χρόνια καταγράφεται αύξηση των δασικών πυρκαγιών η οποία αποδίδεται στην αύξηση της θερμοκρασίας και την μείωση των κατακρημνισμάτων.

Στον Μεσογειακό χώρο όπως προαναφέρθηκε οι Santos et al. (2002), Pausas (2004), Pereira et al. (2005), Moriondo et al. (2006) υποστηρίζουν ότι είναι «πολύ πιθανή» μια αύξηση γενικότερα στον κίνδυνο πυρκαγιών και ειδικότερα:

- στην επιμήκυνση της περιόδου των πυρκαγιών
- στην συχνότητά τους
- στην σφοδρότητα των συμβάντων

Σύμφωνα με τους Mouillotetal (2002) είναι πιθανή η τροποποίηση και των ειδών βλάστησης με επικράτηση των χαμηλότερων φυτών έναντι των δέντρων.

Παράλληλα σύμφωνα με τους Moriondoetal. (2006) ο κίνδυνος πυρκαγιών είναι πιθανό να αυξηθεί και στην κεντρική και την ανατολική Ευρώπη.

Οι Westerling και Bryant (2008) ανέλυσαν τον κίνδυνο πυρκαγιάς που προέκυψε με βάση τις παραμέτρους που υπολογίστηκαν από τα μοντέλα GFDL και PCM για τα σενάρια A2 και B1 στην Καλιφόρνια. Ο κίνδυνος πυρκαγιάς συγκρίθηκε για τις περιόδους 2005-2034, 2035-2064 και 2070-2099 με την περίοδο ελέγχου 1961-1990 και προέκυψαν αποτελέσματα που δείχνουν αύξηση του κινδύνου μεταξύ 10% και 40% στο τέλος του 21ου αιώνα στην ευρύτερη περιοχή. Ιδιαίτερα για την Καλιφόρνια προκύπτει από πολλές μελέτες η πιθανή επιδείνωση των δεικτών του κινδύνου πυρκαγιάς (Westerling και Bryant 2008, Westerlingetal 2006, Lenihanetal 2003).

Οι Lucas et al (2007) υποστηρίζουν ότι η εμφάνιση ημερών με πολύ υψηλό ή ακραίο κίνδυνο πυρκαγιάς θα γίνει πιο πιθανή τόσο μέχρι το 2020 όσο και ως το 2050. Συγκεκριμένα σε σχέση με το 1990 η εμφάνιση τέτοιων ημερών θα αυξηθεί κατά 2% - 65% μέχρι το 2020 (ανάλογα με το σενάριο θέρμανσης) ενώ το 2050 η αύξηση αυτή θα φτάσει από 20% - 300% (πίνακας 18). Παράλληλα οι Lucas et al (2007) οδηγούνται στο συμπέρασμα ότι η επιμήκυνση της περιόδου των πυρκαγιών είναι πιθανή και στην Αυστραλία.

Πίνακας 18. Μεταβολές επί τοις εκατό στον αριθμό ημερών με πολύ υψηλό έως ακραίο κίνδυνο πυρκαγιάς, 2020 και 2050 σε σχέση με το 1990 (Lucas et al 2007).

	2020		2050	
	Αύξηση 0.4ºC	Αύξηση 1.0ºC	Αύξηση 0.7ºC	Αύξηση 2.9ºC

Πολύ Υψηλός κίνδυνος	2-13%	10-30%	5-23%	20-100%
Ακραίος κίνδυνος	5-25%	15-65%	10-50%	100-300%

Οι Bryant et al (2009) προσομοιώνοντας τον κίνδυνο πυρκαγιάς στην Καλιφόρνια για τις περιόδους 2035-2065 και 2070-2100 καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ο κίνδυνος πυρκαγιάς πρόκειται να αυξηθεί τόσο για το σενάριο Α2 όσο και για το Β1. Συγκεκριμένα το σενάριο Α2 είναι πιθανό κατά τους Bryant et al (2009) στο τέλος του αιώνα να οδηγεί σε 20-30% αυξημένο κίνδυνο. Επιπρόσθετα, οι Bryant et al (2009) υποστηρίζουν ότι η σχετική χωρική κατανομή του κινδύνου είναι ανεξάρτητη των δύο σεναρίων.

Οι Mouillot et al (2002) ανέλυσαν τις διαφοροποιήσεις που είναι πιθανόν να προκύψουν στις κλιματικές παραμέτρους βασισμένοι σε μοντέλα γενικής κυκλοφορίας και εφαρμογές μοντελοποίησης της βλάστησης. Στη μελέτη αυτή υποστηρίζουν ότι έχει ιδιαίτερη σημασία να εξετασθούν οι αλλαγές στο καθεστώς της βλάστης και της βιομάζας γενικότερα καθώς αυτό εκτιμάται ότι θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο καθεστώς των δασικών πυρκαγιών. Από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μοντελοποίησης προέκυψε μείωση των διαστημάτων μεταξύ συμβάντων πυρκαγιών.

Οι Hennessy et al (2007) εξέτασαν τις επιδράσεις τις κλιματικής αλλαγής στην Αυστραλιανή ήπειρο προσομοιώνοντας το κλίμα βάση μοντέλων γενικής κυκλοφορίας και χρησιμοποίησαν δείκτες κινδύνου πυρκαγιών (όπως ο FFDI). Τα ευρήματα της μελέτης τους δείχνουν ότι ο κίνδυνος πυρκαγιάς είναι πιθανόν να αυξηθεί μέχρι το 2020 και το 2050. Έτσι οι ημέρες με πολύ υψηλό δείκτη πυρκαγιάς εκφράζεται ως πιθανόν να αυξηθούν κατά 4-25% μέχρι το 2020, και 15-70% έως το 2050. Επιπρόσθετα, οι Hennessy et al (2007) διαπιστώνουν ότι η επικίνδυνη για πυρκαγιές περίοδος στην περιοχή της Αυστραλίας και της Νέας Ζηλανδίας είναι πιθανόν να αυξηθεί.

Οι Flannigan et al (2000) συμπεραίνουν και αυτοί αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς στην βόρεια Αμερική βασιζόμενοι σε 2 μοντέλα γενικής κυκλοφορίας και συγκρίνοντας δείκτες εποχιακής δριμύτητας των πυρκαγιών (όπως ο SSR) όπως προκύπτουν για τη σημερινή περίοδο και του 2060.

Οι Liu et al (2010) μελετούν το δυναμικό πυρκαγιών σε σχέση με το δείκτη KBDI σε όλες τις ηπείρους βασιζόμενοι σε προσομοιωμένες κλιματικές παραμέτρους από μοντέλα γενικής κυκλοφορίας. Στη μελέτη αυτή οι Liu et al (2010) προβλέπουν σημαντική αύξηση του δυναμικού πυρκαγιών στις Ην. Πολιτείες, στη νότια Αμερική, στη νότια Ευρώπη, τη κεντρική Ασία και την Αυστραλία. Επιπλέον δείχνουν ότι οι αλλαγές αυτές θα είναι μέγιστες στη νότια Ευρώπη και μικρότερες στην Αυστραλία. Οι Liuetal (2010) αποδίδουν την αύξηση αυτή του δυναμικού κυρίως στη αύξηση της θερμοκρασίας και την μείωση της σχετικής υγρασίας.

Οι Moriondo et al (2006) ανέλυσαν τα αποτελέσματα του μοντέλου γενικής κυκλοφορίας HadRM3P για την περιοχή της Μεσογείου, χρησιμοποιώντας τα ως δεδομένα εισόδου για τον υπολογισμό του Καναδικού δείκτη πυρκαγιών (FWI) υπό διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν μια γενική αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς υπό τα σενάρια Α2 και Β2 που εξετάσθηκαν. Συγκεκριμένα οι Moriondo et al (2006) καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι είναι πιθανό

- να επιμηκυνθεί η περίοδος με αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς
- να αυξηθεί ο αριθμός ακραίων κλιματικών συμβάντων καύσωνα
- να αυξηθούν τα έτη με πολύ υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς

Οι Moriondo et al (2006) υποστηρίζουν ότι οι περιοχές που θα παρουσιάσουν μεγαλύτερο αντίκτυπο θα είναι οι Ιταλικές Άλπεις, η τα ορεινά της Βαλκανικής χερσονήσου και τμήματα της Ιβηρικής χερσονήσου.

Σχετικά με τον κίνδυνο πυρκαγιών οι Giannakopoulos et al (2009) μελετούν τον μεσογειακό χώρο προσομοιώνοντας τις κλιματικές παραμέτρους για το διάστημα 2031-2060 για τα σενάρια Α2 και Β2 με το μοντέλο HadCM3. Οι Giannakopoulos et al (2009) καταλήγουν στα εξής συμπεράσματα:

- Η Τουρκία, η περιοχή της βόρειας Αδριατικής, τα Βαλκάνια και η κεντρική Ισπανία είναι οι πιο τρωτές περιοχές.
- Αντίθετα στην περιοχή της νότιας και ανατολικής Μεσογείου (Λίβανος έως Λιβύη) δεν καταγράφεται σημαντική αλλαγή.
- Η νότια Γαλλία πρόκειται να επηρεασθεί σημαντικά από την αύξηση του κινδύνου πυρκαγιών

Παράλληλα σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μελέτη είναι πιθανή η επαύξηση της περιόδου με αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιών κατά 2 έως 6 εβδομάδες στις περισσότερες περιοχές πλην τον παραλιακών όπου η αύξηση αναμένεται να είναι πιο περιορισμένη (Giannakopoulosetal 2009).

Οι Pinol et al (1998) αναλύουν ιστορικά στοιχεία πυρκαγιών από το 1968 έως το 1995 στην ανατολική Ισπανία εξετάζοντας την τάση εκδήλωσης πυρκαγιών σε σχέση με μετεωρολογικέςπαραμέτρους. Στη μελέτη τους οι Pinol et al (1998) υποστηρίζουν ότι στο διάστημα αυτό διαπιστώνουν ότι τόσο ο αριθμός πυρκαγιών όσο και το εμβαδόν των καμένων εκτάσεων αυξήθηκε σημαντικά. Παράλληλα η ανάλυση των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής έδειξε μια αύξηση της θερμοκρασίας και της ξηρασίας για την ίδια περίοδο.

Υπολογίζοντας οι Pinol et al (1998) δύο δείκτες κινδύνου πυρκαγιάς βασιζόμενοι στις μετεωρολογικές αυτές παραμέτρους διαπίστωσαν αύξηση τους η οποία υποστηρίζουν σχετίζεται με την παρατηρούμενη αύξηση στις πυρκαγιές. Τέλος αναγνωρίζουν περιορισμούς που εμφανίζονται στη μεθοδολογία τους καθώς δεν υπολογίζεται η ανθρώπινη δραστηριότητα η οποία είναι η κύρια αιτία έναρξης πυρκαγιάς (Pinol et al 1998).

Αντίστοιχα ο Pausas (2004) διερευνώντας τη σχέση στην εκδήλωση πυρκαγιών με τις κλιματικές παραμέτρους ανέλυσε ιστορικά δεδομένα πυρκαγιών στην Ιβηρική χερσόνησο σε αντιπαραβολή με κλιματικές παραμέτρους από 350 τοπικούς σταθμούς. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ελαφρά μείωση της βροχόπτωσης και ξεκάθαρη αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0.35 ºC στο διάστημα 1950-2000 τα οποία συνδυάστηκαν με αύξηση στον αριθμό των πυρκαγιών και στο εμβαδόν καμένων εκτάσεων (με εξαίρεση τα τελευταία τριάντα χρόνια).

Οι Radoglouetal (2009) παραθέτουν μια σειρά από επιδράσεις που έχουν παρατηρηθεί μέχρι σήμερα και οφείλονται σε αλλαγές στις κλιματικές παραμέτρους (μείωση βροχόπτωσης, αύξηση θερμοκρασίας). Αναλυτικά οι επιδράσεις αυτές είναι οι εξής:

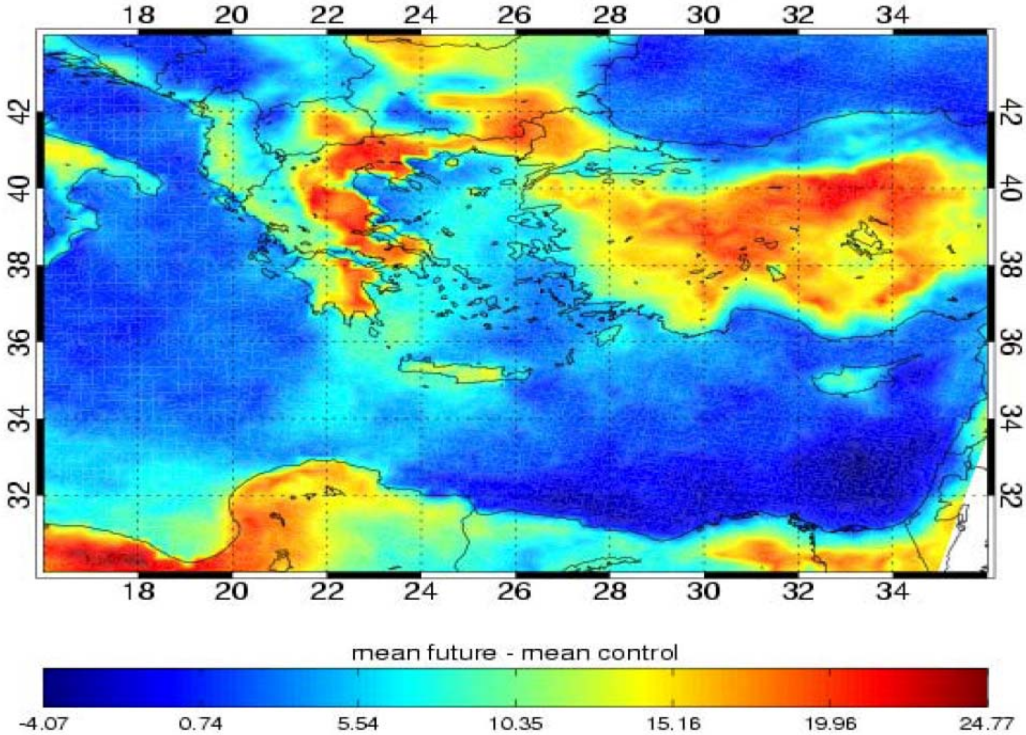
- Μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των δασών
- Μείωση των δασών λόγω μη προσαρμογής διαφόρων ειδών
- Αύξηση κινδύνου πυρκαγιών
- Αλλαγές στην παραγωγικότητα, την εξατμισοδιαπνοή και το μεταβολισμό των φυτικών οργανισμών

4.4 Κλιματική Αλλαγή και πυρκαγιές στον Ελληνικό χώρο

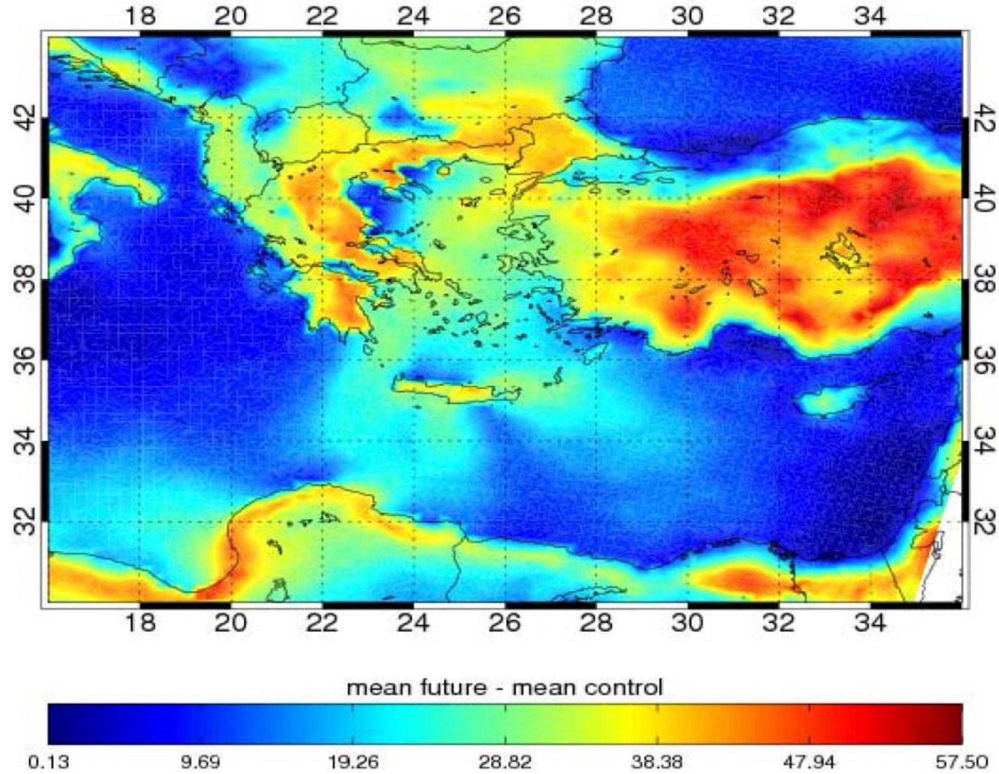
Στον Ελληνικό χώρο οι Giannakopoulos et al (2007) υπολογίζουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς με βάση τον Μετεωρολογικό Δείκτη Πυρκαγιών του Καναδά (FWI). Ο δείκτης αυτός αποτελεί ένδειξη της έντασης μιας υποτιθέμενης πυρκαγιάς και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της δυσκολίας ελέγχου της.

Ο FWI εξαρτάται από μια σειρά κλιματικών παραγόντων οι οποίοι οδηγούν στην εκτίμηση της συμπεριφοράς των πυρκαγιών. Κύριες παράμετροι στη διαδικασία αυτή αποτελούν η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, ο άνεμος και η βροχόπτωση. Η ισχυρή σύνδεση που προκύπτει μεταξύ των τιμών του δείκτη και του αριθμό των πυρκαγιών που εκδηλώνονται τον καθιστά ένα σημαντικό εργαλείο στην πρόγνωση του κινδύνου.

Οι Giannakopoulos et al 2007, Founda et al 2008, Good et al 2008 υπολόγισαν τον αριθμό των ημερών με πολύ αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς (FWI>30) για τις περιόδους 2021-2050 (σχήμα 48) και 2071-2100 (σχήμα 49).



Σχήμα 46. Μεταβολή του αριθμού ημερών με πολύ υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς (FWI>30) μεταξύ των περιόδων 1961-1990 (mean control) και 2021-2050 (mean future), (Giannakopoulos et al 2007, Founda et al 2008, Good et al 2008).



Σχήμα 47. Μεταβολή του αριθμού ημερών με πολύ υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς (FWI>30) μεταξύ των περιόδων 1961-1990 (mean control) και 2071-2100 (mean future), (Giannakopoulos et al 2007, Founda et al 2008, Good et al 2008).

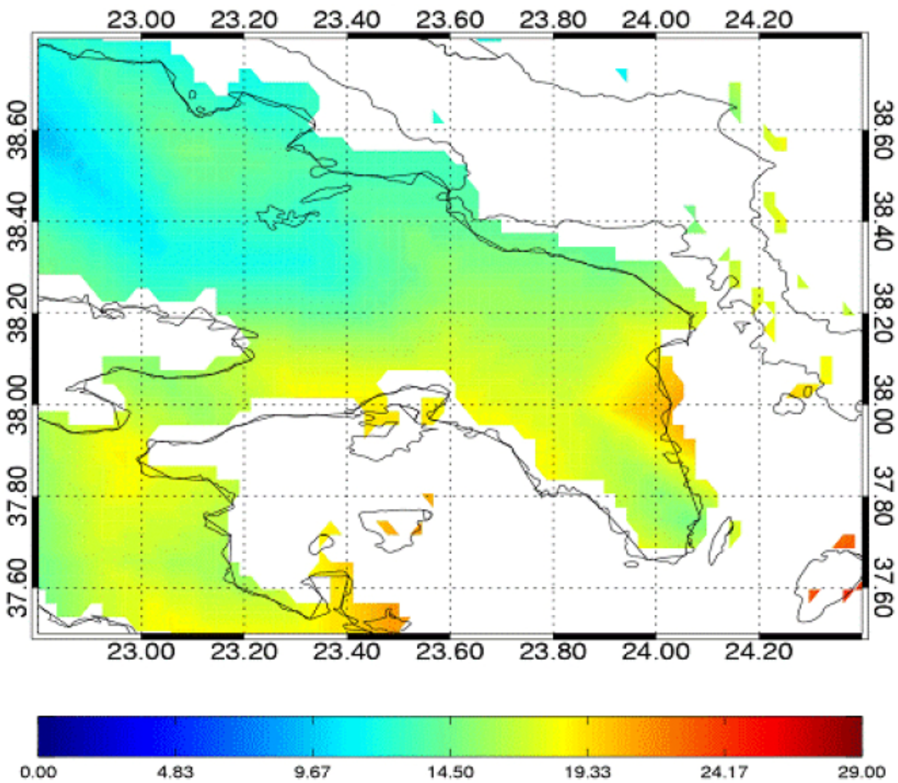
Από τα αποτελέσματα των Giannakopoulos et al (2007) προκύπτει ότι την περίοδο 2021-2050 είναι πιθανή εκτεταμένη αύξηση του αριθμού υψηλού κινδύνου πυρκαγιάς στις περιοχές:

- Κεντρικής Μακεδονίας
- Ανατολικής Στερεάς
- Θεσσαλίας
- Ανατολικής Πελοποννήσου
- Θράκης

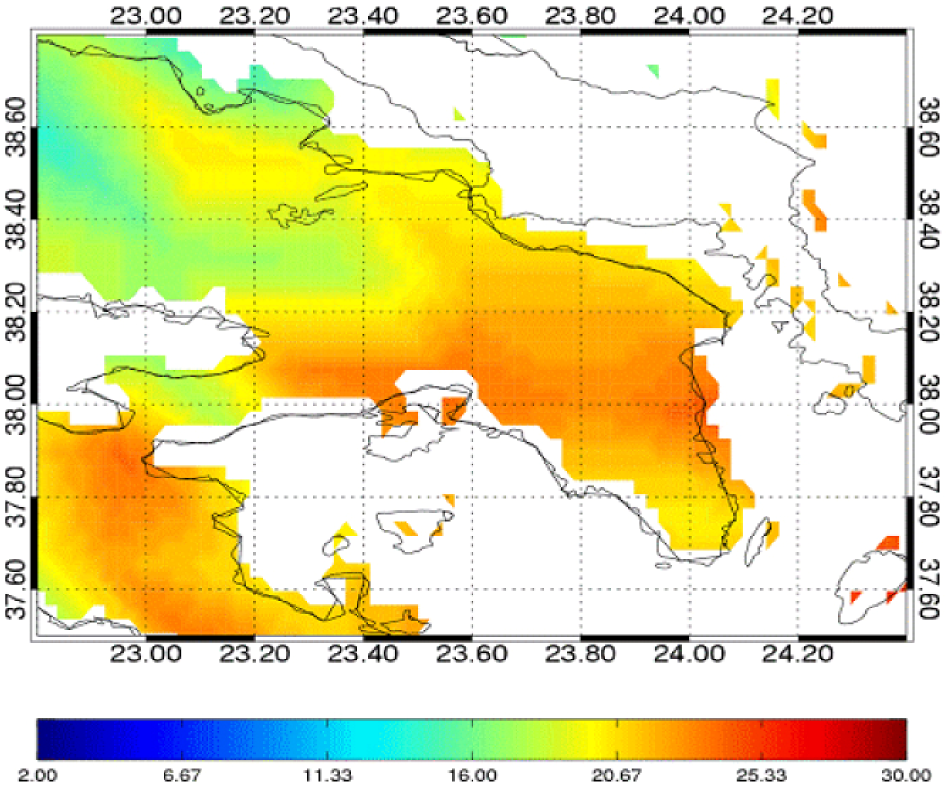
Παράλληλα για την περίοδο προβλέπεται μικρή αύξηση στη δυτική Ελλάδα, και μέση αύξηση στην Κρήτη (σχήμα 36).

Για την περίοδο 2071-2100 προβλέπεται αντίστοιχα εκτεταμένη αύξηση στις ίδιες περιοχές (Κεντρική Μακεδονία, Θεσσαλία, Ανατολική Στερεά και Πελοπόννησο και Θράκη). Παράλληλα προκύπτει εκτεταμένη αύξηση στην Κρήτη και σε τμήματα της κεντρικής και δυτικής Πελοποννήσου. Τέλος μέση προβλέπεται η αύξηση στην δυτική Ελλάδα (σχήμα 37).

Πιο συγκεκριμένα στην Αττική οι Giannakopoulos et al (2007) καταλήγουν σε αύξηση του κινδύνου πυρκαγιών όπως δείχνουν τα σχήματα (50 και 51).



Σχήμα 48. Μέσος όρος των τιμών του δείκτη FWI για τους μήνες Ιούνιο έως Σεπτέμβριο για την περίοδο 1961-1990 (Giannakopoulos et al 2007, Founda et al 2008, Good et al 2008)



Σχήμα 49. Μέσος όρος των τιμών του δείκτη FWI για τους μήνες Ιούνιο έως Σεπτέμβριο για την περίοδο 2021-2050 με βάση τα σενάριο A2 (Giannakopoulos et al 2007, Founda et al 2008, Good et al 2008).

4.5 Συμπεράσματα

Από τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των μελετών που εξετάσθηκαν προκύπτει σημαντική ομοιογένεια σε ότι αφορά την τάση του κινδύνου πυρκαγιάς στο μέλλον. Συγκεκριμένα διαφαίνεται αύξηση του κινδύνου στα περισσότερα τμήματα της Μεσογείου και του Ελληνικού χώρου. Συγκεκριμένα, για την Ελληνική επικράτεια προκύπτει σημαντικότερη αύξηση στο ανατολικό τμήμα του ηπειρωτικού τμήματος και μικρότερη αύξηση στο δυτικό και στη νησιωτική χώρα. Τα αποτελέσματα κρίνεται ότι πρέπει να αντιμετωπισθούν με επιφύλαξη λόγω της εξάρτησης του κινδύνου από μια σειρά παραγόντων που βρίσκονται υπό αλλαγή ή προβλέπεται να αλλάξουν στο μέλλον. Έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες αποτελεί η ίδια η βλάστηση η οποία εμφανίζει τάσεις αλλαγής (Mouillot et al 2002). Επιπρόσθετα, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην μεταβολή των χρήσεων γης και την αβεβαιότητα των μετεωρολογικών παραμέτρων όπως αυτές προκύπτουν από τα μοντέλα προσομοίωσης του κλίματος. Τέλος, ιδιαίτερα για τις πυρκαγιές θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ενίσχυση του κινδύνου που προκύπτει από ανθρωπογενείς παράγοντες όπως είναι οι εμπρησμοί.

4.6 Βιβλιογραφία

Achard, F., H.J. Stibig, L. Laestadius, V. Roshchanka, A. Yaroshenko and D. Aksenov, Eds., 2005: Identification of 'hotspot areas' of forest cover changes in boreal Eurasia. Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg, EUR 21681 EN, 64 pp. http://www-tem.jrc.it//PDF_publis/2005/Achard&al_HotSpot-Boreal-Eurasia.pdf.

Dimitrakopoulos A (1994) Analysis of Forest Fire Causes in Greece. MAI, Chania, Greece.

Fernandez A, Illera P, Casanova JL, (1997) Automatic Mapping of Surfaces Affected by Forest Fires in Spain Using AVHRR NDVI Composite Image Data. Remote Sensing of Environment, Volume 60, Number 2, May 1997, pp. 153-162(10)

Founda D, Giannakopoulos C, Sarantopoulos A, Petrakis M, Zerefos C (2008) Estimating present and future fire risk in Greece: Links with the destructive fires of summer 2007. Geophysical Research Abstracts Vol. 10 EGU2008-A-07848, 2008

Giannakopoulos C, Founda D, Zerefos C (2007) Estimating present and future fire risk in Greece: Links with the destructive fires of summer 2007. Presentation, National Observatory of Athens, Greece

Giannakopoulos C, Le Sager P, Bindi P, Moriondo M, Kostopoulou E, Goodess CM (2009) Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming, Glob. Planet. Change, doi:10.1016/j.gloplacha.2009.06.001

Good RB, McRae RHD (1989) The challenges of modeling natural area ecosystems. Proceedings of 8th Biennial Conference and Bushfire Dynamics Workshop, Canberra, Australia, pp. 475-484.

Good P, Moriondo M, Giannakopoulos C, Bindi M (2008) The meteorological conditions associated with extreme fire risk in Italy and Greece: relevance to climate model studies, Int. J. WildlandFire, 17, 155-165.

Hennessy K, B. Fitzharris, B.C. Bates, N. Harvey, S.M. Howden, L. Hughes, J. Salinger and R. Warrick, 2007: Australia and New Zealand. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 507-540.

Iliadis LS (2005) A decision support system applying an integrated fuzzy model for long-term forest fire risk estimation. Environmental Modelling & Software, Volume 20, Issue 5, Pages 613-621

Iliadis LS, Papastavrou AK, Lefakis PD (2002) A computer-system that classifies the prefectures of Greece in forest fire risk zones using fuzzy sets. Forest Policy and Economics 4, 43–54

Le Houérou HN (1987) Vegetation wildfires in the Mediterranean basin: evolution and trends. Ecologia mediterranea. XIII(4): 12.

Lekakis JN (1995) Social and ecological correlates of rural fires in Greece. Journal of Environmental Management. 43, 1, Pages 41-47.

Lenihan J, Drapek R, et al (2003) Climate change effects on vegetation distribution, carbon and fire in California. Ecological Applications 13:1667-1681.

Liu Y, Stanturf J, Goodrick S (2009). Trends in global wildfire potential in a changing climate. Forest Ecology and Management 259, 685–697

Lucas C, Hennessy K, Mills G, Bathols J (2007) Bushfire Weather in Southeast Australia: Recent trends and projected climate change impacts, consultancy report prepared for The Climate Institute of Australia, Bushfire CRC and Bureau of Meteorology, Victoria [www.climateinstitute.org.au/images/stories/bushfire/fullreport.pdf] 7.5

Markalas S (1990) Forest Fires in Greece. Proceedings, Thessaloniki, Greece, p. 97.

Moriondo M, Good P, Durao R, Bindi M, Gianakopoulos C, Corte-Real J, (2006) Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. Clim. Res., 31, 85-95.

Mouillot F, Rambal S, Joffre R (2002) Simulating climate change impacts on fire-frequency and vegetation dynamics in a Mediterranean-type ecosystem. Glob. Change Biol., 8, 423-437.

Papanikolaou D, Diakakis M, Aggelopoulos A (In press). Geoenvironmental impact after the 2009 wildfires in Northeastern Attica, Greece. Proceedings of Forest Fires in East Attica, Policies and Remediation Measures Meeting, Geotechnical Chamber of Greece.

Pausas JG (2004) Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). Climatic Change, 63, 337-350.

Pausas JG, Vallejo RV (1999) The role of fire in European Mediterranean ecosystems. In Remote Sensing of Large Wildfires, E. Chuvieco, (Ed), pp. 3–16 (Berlin: Springer).

Pereira MG, Trigo RM, da Camara CC, Pereira JMC, Leite SM, (2005) Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. Agric. For. Meteorol., 129, 11–25.

Pinol J, Terradas J, Lloret F (1998) Climate warming, wildfire hazard and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. Climatic Change 38: 345-357

Radoglou K, Raftoyannis Y, Spyroglou G (2009) Expected Climate Change and Options for European Silviculture, Country Report – Greece. COST action FP0703 – ECHOES

Rosenzweig C, Casassa G, Karoly DJ, Imeson A, Liu C, Menzel A, Rawlins S, Root TL, Seguin B, Tryjanowski P (2007) Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 79-131.

Salas J, Chuvieco E (1994) Geographic Information Systems for wildland fire risk mapping. Wildfire, 3(2), 7-13.

San Miguel Ayanz J, Barbosa P, Schmuck G, Liberta G, Meyer Roux J (2003) The European forest fire information system (EFFIS). In: Proceedings of the 6th AGILE, April 24th – 26th, Lyon, France.

Santos FD, Forbes K, Moita R, Eds., (2002) Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. SIAM project report, Gradiva, Lisbon, 456 pp

Singer FJ, Schullery P (1989) Yellowstone wildlife: populations in process. Western Wildlands, 15:18-22

Tapper N (2000) Atmospheric issues for fire management in Eastern Indonesia and northern Australia. Proceedings of an International Workshop: Fire and Sustainable Agricultural and Forestry Development in Eastern Indonesia and Northern Australia, J. Russell-Smith, G. Hill, S. Djoeroemana and B. Myers, Eds., Northern Territory University, Darwin, 20-21. http://www.arts. monash.edu.au/ges /who/pdf/Atmospheric%20Issues%20for%20Fire% 20Management.pdf.

Thanos CA, Daskalakou EN, Nikolaidou S (1996) Early post- fire regeneration of a Pinus halepensis forest on Mount Parnis, Greece. Journal of Vegetation Science, Vol. 7, No. 2, pp. 273-280

Thanos CA, Marcou S (1991) Post-fire regeneration in Pinus brutia forest ecosystems of Samos island (Greece); 6 years after. Acta Ecol. 12, pp. 633–642.

Tsitsoni T (1997) Conditions determining natural regeneration after wildfires in the Pinus halepensis (Miller, 1768) forests of Kassandra Peninsula (North Greece) Forest Ecology and Management, Volume 92, Issues 1-3, Pages 199-208

Velez R (1997) Recent history of forest fires in the Mediterranean area. Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards Course. European Commission.

Westerling AL, Gershunov A, Brown TJ, Cayan DR, Dettinger MD (2003) Climate and Wildfire in the Western United States. Bulleting of the American Meteorological Society, May 2003, 84 (5):595-604.

Westerling AL, Hidalgo HG, et al (2006) Warning and earlier spring increase western US forest wildfire activity. Science 313:940-943.

Westerling AL, Bryant BP (2008) Climate change and wildfire in California. Climatic Change 87:231-249.

Williams AA, Karoly DJ, Tapper N (2001) The sensitivity of Australian fire danger to climate change. Climatic Change, 49, 171-191.

Xanthopoulos G (2003) Factors affecting the vulnerability of houses to wildland fire in the Mediterranean region. In: Proceedings of the Internation Workshop on “Forest Fires In the Wildland – Urban Interface and Rural Areas in Europe: An integral planning and management challenge”, May 15 & 16, 2003, Athens, Greece.

Xanthopoulos G (2008) Who Should Be Responsible for Forest Fires?Lessons From the Greek Experience. Proceedings of the Second International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: A Global View, 189-202, April 2008