

Μελέτη της επίπτωσης της κλιματικής αλλαγής στην ποτάμια απορροή νερού και ιζήματος του Σπερχειού ποταμού

Α. Ξηρού¹, Π. Νάστος¹, Σ. Πούλος² και Χ. Μαρουκιάν²

¹Εργαστήριο Κλιματολογίας & Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Τομέας Γεωγραφίας & Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη – Ζωγράφου, 15784, Αττική (τηλ. +30.210.7274143 email: nastos@geol.uoa.gr)

²Τομέας Γεωγραφίας & Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη – Ζωγράφου, 15784, Αττική

Περίληψη

Η λεκάνη του Σπερχειού ποταμού ανήκει στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα και είναι μια ταφροειδής στενή λωρίδα με διαμήκη άξονα που συμπίπτει σε γενικές γραμμές με την κοίτη του ποταμού. Ο ποταμός Σπερχειός, έχει μήκος 82,5 km και συνολική έκταση λεκάνη απορροής 1.660,91 km². Πηγάζει από τον Τυμφρηστό (2.312 m), τα Βαρδούσια, την Όρθρυ, την Οίτη και το Καλλίδρομο και εκβάλει στον Μαλιακό κόλπο, όπου σχηματίζει το δέλτα του.

Η επιφανειακή απορροή υπολογίστηκε μέσω των επιμέρους παραμέτρων του υδατικού ισοζυγίου (1^η προσέγγιση) καθώς και με τη χρήση λογισμικού που διατίθεται ελεύθερα από το U.S. Geological Survey (USGS) (2^η προσέγγιση) (McCabe and Markstrom 2007). Έτσι η επιφανειακή απορροή για συντελεστή εξατμισοδιαπνοής 35% ισούται με 468,756 10⁶ m³ (1^η προσέγγιση) και εκείνη που αντιστοιχεί σε υγρασία εδάφους 100 mm (2^η προσέγγιση) ισούται με 519,098 10⁶ m³.

Η εκτίμηση της στερεοπαροχής (ανά μονάδα επιφανείας) υπολογίστηκε με βάση τις εξισώσεις των Jansen & Painter (1978), Renfro (1972) και Probst (1992.) Το αιρούμενο φορτίο εκτιμάται στα 171-248 tones/km² με το ολικό να κυμαίνεται μεταξύ 214-312 tones/km².

Η εκτίμηση των μελλοντικών τιμών επιφανειακής απορροής και στερεοπαροχής στηρίχθηκε στις προσομοιώσεις των μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο RAMCO-2 (KNMI, Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα ENSEMBLES) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990. Τα αποτελέσματα δείχνουν μια μείωση της επιφανειακής απορροής κατά 6,19% για το χρονικό διάστημα 2021-2050 και κατά 33,35% για το διάστημα 2071-2100. Παρομοίως η στερεοπαροχή ανά μονάδα επιφανείας αναμένεται να μειωθεί κατά 11,03 % το διάστημα 2021-2050 και κατά 30,02 % το διάστημα 2071-2100.

Η μελλοντική μείωση της στερεοπαροχής του Σπερχειού ποταμού, σε συνδυασμό με την παράλληλη μείωση της επιφανειακής απορροής, εκτιμάται ότι μπορεί να επηρεάσει την εξέλιξη της δελταϊκής ακτογραμμής του ποταμού καθώς και στο να χαθεί τμήμα της δελταϊκής πεδιάδας.

Λέξεις Κλειδιά: στερεοπαροχή, επιφανειακή απορροή, Σπερχειός ποταμός, κλιματικό μοντέλο

Summary

The Basin of Spercheios River belongs to East Sterea Ellada and is a ditch-like narrow strip with longitudinal axis that, in general, coincides with the river bed. Spercheios River, is 82,5 km long and the total surface of the water catchment basin is 1,660.91 km². It drains the Tymfristos (2.312 m), Vardousia, Othrys, Oite and Kallidromo mountains and debouches into the Maliakos Gulf, where its delta is formed.

The surface runoff was calculated through the several parameters of the water balance (1st approach), as well as through the use of software available by U.S. Geological Survey (USGS) (2nd approach) (McCabe and Markstrom 2007). Thus, the surface runoff for evapotranspiration coefficient 35% is equal to 468.76 10⁶ m³ (1st approach) while for the 2nd approach and for soil moisture 100 mm is equal to 519.1 10⁶ m³.

The assessment of sediment yield (suspended sediment load per unit area) was calculated on the basis of the equations of Jansen & Painter (1978), Renfro (1972) and Probst (1992) and found to be 171-248 t/km², while the total sediment load varies between 214 t/km² and 312 t/km².

The estimation of future levels of surface runoff and sediment yield was based on simulations of monthly rainfall and temperature levels of the regional climate model RAMCO-2 (KNMI; the European Project ENSEMBLES) in relation to the reference period 1961-1990. The results show

reduction of surface runoff by 6.19% for the period 2021-2050 and by 33.35% for the period 2071-2100. Accordingly the sediment yield per unit area is expected to be reduced by 11.03% for the period 2021-2050 and by 30.02% for the period 2071-2100.

The future reduction of the sediment yield of the Spercheios River in combination with the simultaneous reduction of the surface runoff is estimated that it may affect the evolution of the delta's coastline of the river and to the lack of parts of the delta's plain.

Keywords: sediment yield, surface runoff, Spercheios River, climate model

Εισαγωγή

Τα περιβαλλοντικά ζητήματα όπως η κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις της στα οικοσυστήματα αποκτούν ιδιαίτερη σημασία κατά τις τελευταίες δεκαετίες και απασχολούν τη διεθνή κοινότητα (IPCC 2013). Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής σε ορισμένες περιπτώσεις δεν είναι εύκολα αντιληπτές και για το λόγο αυτό μπορούν να καταστούν ακόμα πιο επικίνδυνες για ορισμένα οικοσυστήματα, καθώς εξαιτίας αυτών των δυσχερειών δε λαμβάνονται έγκαιρα μέτρα αντιμετώπισης και διαχείρισης των επιπτώσεων αυτών.

Η σύγκριση των εκτιμηθεισών μελλοντικών κλιματικών παραμέτρων για τον Ελληνικό χώρο με τα σημερινά δεδομένα σύμφωνα με τη μελέτη των Στουρνάρας κ.α. (2011) οδηγεί στο συμπέρασμα της μείωσης των τιμών ύψους βροχής κατά 3-7% και του συνολικού υδατικού δυναμικού κατά 7-20% για την περίοδο 2021-2050, και 14-22% επί της βροχόπτωσης και 30-54% του υδατικού δυναμικού για την περίοδο 2071-2100, στο σύνολο της επικράτειας. Τα παραπάνω συμπεράσματα σε συνδυασμό με το γεγονός ότι το 75-80% περίπου του συνολικού υδατικού δυναμικού της χώρας αποτελεί μέρος της ζήτησης νερού προς άρδευση γίνεται αντιληπτό πως η μεταβολή αυτή θα έχει άμεσες συνέπειες στο είδος και έκταση των καλλιεργειών, σε συνδυασμό με τις αλλαγές αγροτικών πρακτικών.

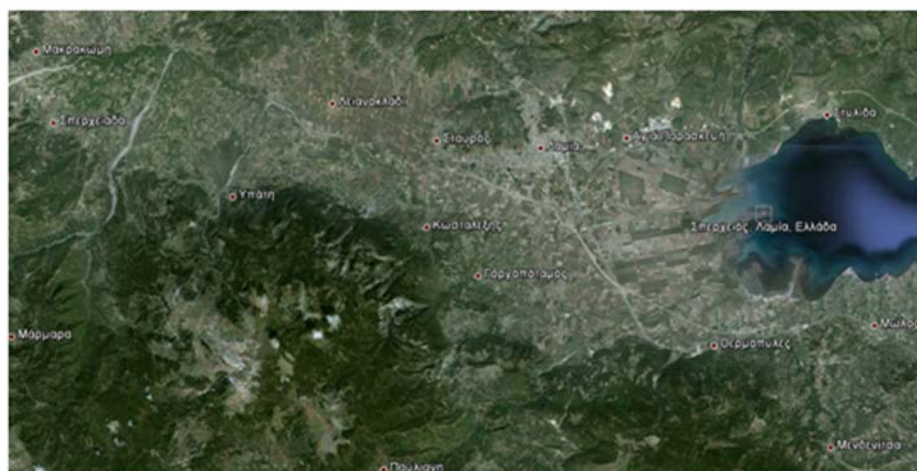
Ανακεφαλαιώνοντας, καταδεικνύεται ότι τα ποτάμια κυριαρχούν στη ζωή του ανθρώπου. Έχουν αξία βιολογική, υδρευτική, αρδευτική, αλιευτική, κτηνοτροφική, θηραματική, υλοτομική, υδροηλεκτρική, αιμοληπτική, εκπαιδευτική, επιστημονική, πολιτιστική, ψυχαγωγική αλλά και στρατιωτική δημιουργώντας φυσικά κωλύματα και άξονες συγκοινωνιών. Η εγκατάσταση λοιπόν και η ανάπτυξη των μεγάλων πληθυσμιακών κέντρων δεν πραγματοποιήθηκε τυχαία κοντά σε περιοχές όπου υπήρχαν ποτάμια (Σκουληκίδης 1997).

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης είναι η εκτίμηση των τιμών της επιφανειακής απορροής και της στερεοπαροχής για τις 30ετίες 2021-2050 και 2071-2100 και η σύγκριση αυτών με τις τιμές της υφιστάμενης κατάστασης στη περίπτωση του Σπερχειού Ποταμού.

Περιοχή Μελέτης

Η λεκάνη του Σπερχειού ποταμού ανήκει στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα και είναι μια ταφροειδής στενή λωρίδα με διαμήκη άξονα που συμπίπτει σε γενικές γραμμές με την κοίτη του ποταμού. Ο ποταμός Σπερχειός, έχει μήκος 82,5 km και συνολική έκταση λεκάνης απορροής 1.660,91 km² (Μαρουκιάν 1987).

Διοικητικά η λεκάνη Σπερχειού ανήκει στον Νομό Φθιώτιδας. Πηγάζει από τον Τυμφρηστό (2.312 m), τα Βαρδούσια, την Όρθρυ, την Οίτη και το Καλλίδρομο και εκβάλλει στον Μαλιακό κόλπο, όπου σχηματίζει το δέλτα του. Στο χώρο της εκβολής του, η κεντρική του κοίτη διασπάται σε τρεις νέες κοίτες, την παλιά κοίτη του ποταμού, τη νεώτερη και την κοίτη εκτροπής. Στη λεκάνη απορροής επικρατούν έντονες κλίσεις και για το σύνολο της η μέση κλίση είναι ίση με 33%. Η κεντρική κοίτη του ρεύματος έχει συνολικό μήκος 80 km ενώ η μέση κλίση της κυμαίνεται από 0,5% στην περιοχή του Δέλτα έως και 13% στο ορεινό τμήμα της λεκάνης απορροής (Ευθυμίου κ.α. 2005).



Εικόνα 1: Δορυφορική απεικόνιση της πειοχής μελέτης (πηγή: Google Earth)

Μεθοδολογία

Η επιφανειακή απορροή υπολογίστηκε μέσω των επιμέρους παραμέτρων του υδατικού ισοζυγίου

$$Q = ET + I - P$$

όπου Q: η ετήσια επιφανειακή απορροή, ET: το ετήσιο ποσό εξατμισοδιαπνοής, I: το ετήσιο ποσό ύδατος που κατεισδύει και P: το ετήσιο ποσό ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Ο υπολογισμός του μέσου μηνιαίου βροχομετρικού ύψους P έγινε στηριζόμενοι στη μέθοδο Thiessen, η μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με τη μέθοδο του Coutagne (1949) και τέλος με τη βοήθεια των συντελεστών κατεισδυσής του κάθε σχηματισμού υπολογίστηκε ο βαρυκεντρικός συντελεστής κατεισδυσής.

Επίσης η επιφανειακή απορροή υπολογίστηκε με τη χρήση λογισμικού Thornthwaite που διατίθεται ελεύθερα από το U.S. Geological Survey (USGS) και περιγράφεται αναλυτικά από τους McCabe and Markstrom (2007).

Ο υπολογισμός της στερεοπαροχής (ανά μονάδα επιφάνειας) έγινε με την εφαρμογή των εξισώσεων των:

(A) Renfro (1972): $\log(SDR) = 1,877 - 0,1419 \times \log(25,9 \times A)$

όπου SDR ο συντελεστής στερεοαπορροής, A το εμβαδόν της λεκάνης και A_i η εδαφική απώλεια ανά μονάδα επιφάνειας που δίνεται από την σχέση:

$$A_i = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \text{ (Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας)}$$

όπου R ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχής, K ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας, LS τοπογραφικός συντελεστής, C ο συντελεστής κάλυψης και P ο συντελεστής διαχείρισης των εδαφών κατά της διάβρωσης

(B) Jansen & Painter (1978): $\log SY = -2,032 + 0,1 \log Q - 0,314 \log A_i + 0,75 \log H + 1,104 \log P + 0,368 \log T - 2,324 \log V_i + 0,786 \log L_i$

όπου SY η μέση ετήσια στερεοπαροχή ανά μονάδα επιφάνειας, Q η μέση ετήσια επιφανειακή απορροή, A η έκταση της λεκάνης απορροής, H το μέσο υψόμετρο, P η μέση ετήσια βροχόπτωση, T η μέση ετήσια θερμοκρασία, V ο συντελεστής βλάστησης και L ο συντελεστής λιθολογίας.

(Γ) Probst (1992): $\ln SY = 1,561 + 0,9655 \ln S + 0,0023 Q + 0,5692 \ln P - 0,866 V$

(Δ) Probst (1992): $\ln SY = -0,0723 + 1,0280 \ln S + 0,0365 L + 0,6932 \ln P + 0,0016 Q - 0,7516 V$

όπου SY η μέση ετήσια στερεοπαροχή ανά μονάδα επιφάνειας, S η μέση κλίση, L συντελεστής λιθολογίας, Q η μέση ετήσια απορροή, P η μέση ετήσια βροχόπτωση και V συντελεστής βλάστησης.

Βάσει της βιβλιογραφίας (Skoulikidis 1996 & Πούλος 1997) για τον υπολογισμό του συνολικού φορτίου προσθέτουμε ένα ποσοστό της τάξης 25%, έτσι ώστε να συμπεριληφθεί και το ποσό των ιζημάτων που μεταφέρεται σε διάλυση καθώς και ως φορτίο κοίτης.

Η εκτίμηση των μελλοντικών τιμών επιφανειακής απορροής και στερεοπαροχής ανά μονάδα επιφάνειας του Σπερχειού ποταμού στηρίχθηκε στις προσομοιώσεις των μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, από το περιοχικό κλιματικό μοντέλο RAMCO-2 (KNMI) (van

Meijgaard et al. 2008) από το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα ENSEMBLES, και αφορούν το εγγύς μέλλον 2021-2050 και το μακρινό μέλλον 2071-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990.

Αποτελέσματα - Συζήτηση

Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί έχουν υπολογιστεί οι τιμές της μέσης ετήσιας επιφανειακής απορροής για διαφορετικούς συντελεστές εξατμισοδιαπνοής, οι οποίοι για τον ελληνικό χώρο μπορεί να κυμαίνονται από 35% έως και 55%.

Πίνακας 1: Μέσες μηνιαίες τιμές επιφανειακής απορροής για συντελεστή εξατμισοδιαπνοής 35%, 40%, 45%, 50% και 55% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Μήνας	$Q(10^6 m^3)$ 35%	$Q(10^6 m^3)$ 40%	$Q(10^6 m^3)$ 45%	$Q(10^6 m^3)$ 50%	$Q(10^6 m^3)$ 55%
Ιανουάριος	54,73	47,72	40,67	33,68	26,67
Φεβρουάριος	56,85	49,56	42,27	34,99	27,70
Μάρτιος	46,66	40,68	34,670	28,71	22,73
Απρίλιος	41,97	36,59	31,21	25,83	20,45
Μάιος	25,45	22,19	18,923	15,66	12,40
Ιούνιος	16,24	14,16	12,08	9,99	7,91
Ιούλιος	10,40	9,07	7,74	6,40	5,07
Αύγουστος	16,62	14,49	12,36	10,23	8,09
Σεπτέμβριος	13,96	12,17	10,38	8,59	6,80
Οκτώβριος	45,81	39,94	34,07	28,19	22,32
Νοέμβριος	71,17	62,04	52,92	43,79	34,67
Δεκέμβριος	68,90	60,06	51,23	42,40	33,57
Ετήσιο	468,76	408,66	348,56	288,47	288,47

Από τις τιμές που υπολογίστηκαν, η μέση ετήσια απορροή που αντιστοιχεί σε συντελεστή εξατμισοδιαπνοής 35% ισούται με $468,76 \cdot 10^6 m^3$ και η οποία ατιστοιχεί σε μια τιμή υδατικού δυναμικού ίση με $0,28 \cdot 10^6 m^3/km^2$, η οποία είναι πολύ κοντά στην τιμή του υδατικού δυναμικού των $0,3 \cdot 10^6 m^3/km^2$ που έχει υπολογιστεί σχετικά πρόσφατα από τον Ψωμιάδη (2010) και γι' αυτό το λόγο γίνεται αποδεκτή.

Στον Πίνακα 2 που ακολουθεί παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μέσες μηνιαίες τιμές της επιφανειακής απορροής σύμφωνα με το μοντέλο Thornthwaite για το σύνολο της λεκάνης απορροής του Σπερχειού για τις πέντε διαφορετικές υγρασίες κορεσμού του εδάφους που όπως έχει υπολογιστεί για τον ελληνικό χώρο μπορεί να κυμαίνεται συνήθως από 80 mm έως το πολύ 250 mm.

Πίνακας 2: Αποτελέσματα επιφανειακής απορροής μοντέλου Thornthwaite σε 106 m³ για το σύνολο της λεκάνης του Σπερχείου και για διαφορετικές τιμές υγρασίας κορεσμού του εδάφους.

ΜΗΝΑΣ	Q (10 ⁶ m ³) ΛΕΚΑΝΗ 80mm	Q (10 ⁶ m ³) ΛΕΚΑΝΗ 100mm	Q (10 ⁶ m ³) ΛΕΚΑΝΗ 150mm	Q (10 ⁶ m ³) ΛΕΚΑΝΗ 200mm	Q (10 ⁶ m ³) ΛΕΚΑΝΗ 250mm
Ιανουάριος	135,68	119,07	77,55	40,17	28,09
Φεβρουάριος	121,27	112,96	92,20	69,29	43,36
Μάρτιος	87,80	83,65	73,35	61,85	41,71
Απρίλιος	55,20	53,05	47,90	42,19	32,11
Μάιος	28,14	27,14	24,56	21,66	16,58
Ιούνιος	14,50	14,00	12,67	11,27	8,77
Ιούλιος	7,60	7,28	6,61	5,87	4,67
Αύγουστος	5,27	5,11	4,78	4,37	3,72
Σεπτέμβριος	3,30	3,30	3,14	2,97	2,65
Οκτώβριος	6,60	6,60	6,51	6,44	6,27
Νοέμβριος	30,84	22,03	9,80	9,38	9,38
Δεκέμβριος	77,19	64,91	47,25	28,99	14,41
Ετήσιο	573,40	519,10	406,31	304,45	211,71

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 2, η ετήσια απορροή του Σπερχείου ποταμού κυμαίνεται από 211,714 10⁶ m³ έως 573,397 10⁶ m³. Για υγρασία εδάφους 100 mm η απορροή του Σπερχείου είναι **519,1 10⁶ m³**, η οποία αντιστοιχεί σε ένα υδατικό δυναμικό 0,31 10⁶ m³/km² που είναι παρόμοιο με την τιμή του υδατικού δυναμικού 0,30 10⁶ m³/km² που έχει υπολογίσει στη μελέτη του ο Ψωμιάδης (2010).

Στον Πίνακα 3 που ακολουθεί δίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα υπολογισμού της στερεοπαροχής τόσο για το αιωρούμενο υλικό όσο και για το συνολικό.

Πίνακας 3: Αποτελέσματα αιωρούμενου και συνολικού ποσού στερεοπαροχής της λεκάνης Σπερχείου ποταμού.

Εξισώσεις	Αιωρούμενο (t/km ²)	Συνολικό (t/km ²)
Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (USLE)		266,27
Jansen & Painter (1974)	248,35	312,06
Probst 1 (1992)	171,90	214,88
Probst 2 (1992)	180,70	225,88

Στον Πίνακα 4 δίνονται οι μέσες μηνιαίες απορροές σε 10⁶ m³ για τα μελλοντικά χρονικά διαστήματα 2021-2050 και 2071-2100, αντίστοιχα, καθώς και η ποσοστιαία μεταβολή τους σε σύγκριση με την υφιστάμενη κατάσταση (1961-1990) για εδαφική υγρασία 100mm (2^η προσέγγιση), ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των προγνώσεων με τα προαναφερθέντα αποτελέσματα.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα μέσης μηνιαίας απορροής σε 10^6 m^3 μοντέλου Thornthwaite για την λεκάνη του Σπερχειού για τα χρονικά διαστήματα 2021-2050 και 2071-2100, όπως η ποσοστιαία μεταβολή τους.

Μήνας	$Q(10^6 \text{ m}^3)$ 1970-2002	$Q(10^6 \text{ m}^3)$ 2021-2050	Μεταβολή (%)
Ιανουάριος	119,07	112,28	-5,71
Φεβρουάριος	112,96	102,48	-9,28
Μάρτιος	83,65	74,08	-11,44
Απρίλιος	53,05	44,18	-16,72
Μάιος	27,14	22,09	-18,60
Ιούνιος	14,00	11,63	-16,97
Ιούλιος	7,28	6,15	-15,57
Αύγουστος	5,11	4,65	-8,93
Σεπτέμβριος	3,30	2,66	-19,51
Οκτώβριος	6,60	7,14	8,15
Νοέμβριος	22,03	13,62	-38,17
Δεκέμβριος	64,91	86,04	32,54
ΕΤΗΣΙΟ	519,10	486,98	-6,19

Λόγω της κλιματικής αλλαγής η ετήσια επιφανειακή απορροή αναμένεται να μειωθεί κατά 6,19% στο εγγύς μέλλον (2021-2050) και κατά 33,35% στο απώτερο (2071-2100).

Στον Πίνακα 5 που ακολουθεί δίνονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα υπολογισμού της στερεοπαροχής για τις περιόδους 2021-2050 και 2071-2100 μαζί με την ποσοστιαία μεταβολή τους σε σχέση με τις σημερινές τιμές τους.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα συνολικού ποσού στερεοπαροχής της λεκάνης για τις περιόδους 2021-2050 και 2071-2100 και η ποσοστιαία μεταβολή τους σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση με βάση τις εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν.

Εξισώσεις	Ίζημα σήμερα (t/km ²)	2021-2050	Μεταβολή (%)	2071-2100	Μεταβολή (%)
Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (USLE)	266,27	260,37	-2,217	219,16	-17,693
Jansen & Painter (1974)	312,06	230,22	-26,227	194,42	-37,700
Probst-1 (1992)	214,88	210,07	-2,237	157,17	-26,857
Probst-2 (1992)	225,88	220,98	-2,169	171,86	-23,915

Με βάση τις εκτιμήσεις του Πίνακα 5, η στερεοπαροχή ανά μονάδα επιφανείας αναμένεται να μειωθεί κατά 11,03 % στο εγγύς μέλλον (2021-2050) και κατά 30,02 % στο απώτερο (2071-2100).

Συμπεράσματα

Η τιμή της επιφανειακής απορροής με βάση τα υφιστάμενα κλιματικά / υδρογεωλογικά στοιχεία εκτιμάται σε 468,8-519,1 10^6 m^3 , ενώ το αιρούμενο φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας εκτιμάται στα 171-248 t/km^2 , με το αντίστοιχο ολικό φορτίο στα 214-312 t/km^2 .

Λόγω της κλιματικής αλλαγής η επιφανειακή απορροή αναμένεται να μειωθεί κατά περίπου 6,2% τη περίοδο 2021-2050 και κατά 33,35% τη περίοδο 2071-2100. Παρομοίως, η στερεοπαροχή ανά μονάδα επιφάνειας εκτιμάται ότι θα μειωθεί κατά περίπου 11% και 30%, στις ίδιες μελλοντικές περιόδους.

Η προβλεπόμενη αισθητή μείωση της επιφανειακής απορροής θα έχει ως ενδεχόμενο αποτέλεσμα την αύξηση της συγκεντρώσεως ρυπαντικού φορτίου και την περιβαλλοντική υποβάθμιση (π.χ. αποξήρανση) των παράκτιων υγροτόπων. Επίσης, πιθανή είναι η επιδείνωση του φαινομένου της ερημοποίησης των εδαφών λόγω του υδατικού ελλείμματος.

Η μελλοντική μείωση της στερεοπαροχής του Σπερχείου ποταμού, σε συνδυασμό με την παράλληλη μείωση της επιφανειακής απορροής, εκτιμάται ότι μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα της δελταϊκής ακτογραμμής του Σπερχείου ποταμού.

Βιβλιογραφία

- Ευθυμίου Γ., Μερτζάνης Α., Σαπουντζής Μ., Ζακυνθινός Γ. (2005). *Ανθρωπογενείς επιδράσεις στο δέλτα του π. Σπερχείου-Μέτρα προστασίας και διαχείρισης των φυσικών οικοσυστημάτων*. Heleco '05, TEE, Αθήνα
- Μαρουκιάν Χ. (1987). *Φυσικογεωγραφικές παρατηρήσεις στη λεκάνη απορροής του ποταμού Σπερχείου*. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Φυσικής Γεωγραφίας Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ. 159, Αθήνα
- Πούλος Σ. (1997). *Το ιζηματολογικό δυναμικό των Ελληνικών ποταμών*. Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, 487-488
- Σκουληκίδης Ν. (1997). *Περιβαλλοντική κατάσταση των Ελληνικών ποταμών. Βιώσιμη ανάπτυξη με την περιβαλλοντική αγωγή*. Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Αιτωλοκαρνανίας, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Μεσολόγγι.
- Στουρνάρας Γ., Νάστος Π., Γιόζας Γ., Ευελπίδου Ν., Βασιλάκης Εμμ., Παρτσινεβέλου Σ.Α., Ηλιόπουλος Β. (2011). *Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στα Επιφανειακά και Υπόγεια Υδατικά Σώματα του Ελλαδικού Χώρου*. Τράπεζα της Ελλάδας, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Αθήνα, σελ. 29-36 & 52-72.
- Ψωμιάδης Ε. (2010). *Έρευνα γεωμορφολογικών και περιβαλλοντικών μεταβολών στην υδρολογική λεκάνη του Σπερχείου ποταμού με χρήση νέων τεχνολογιών*. Διδακτορική διατριβή που υποβλήθηκε στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Coutagne A. (1949). *Etude générale des variations de débits en fonction des facteurs qui les conditionnent*. La Houille blanches 2, Paris.
- Jansen, J.M.L and R.B. Painter. (1974). *Predicting sediment yield from climate and topography*. Journal of Hydrology 21, pp 371-380.
- McCabe, G.J. and Markstrom S.L.(2007). *A monthly water-balance model driven by a graphical user interface*. U.S. Geological Survey Open-File report 2007-1088, 6 p.
- van Meijgaard, E., van Ulf, L.H., van de Berg, W.J., Bosveld, F.C., van den Hurk, B.J.J.M., Lenderink, G., Siebesma, A.P. (2008). *The KNMI regional atmospheric climate model RACMO version 2.1. KNMI technical report, TR-302*, KNMI, De Bilt
- Probst J.L. (1992). *Ge'ochimie et hydrologie de l'érosion continentale. Mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années*. Sci. Ge'ol. Mé'm., Strasbourg, 94, 161 pp.
- Renfro G.W. (1972). *Use of erosion equations and sediment delivery ratios for predicting sediment yield*, Proceedings USDA Sedim. Labor. Oxford, Mass. Usa, pp. 33-45.
- Skoulikidis N. (1996). *Greek river inputs to the Mediterranean and the mechanisms controlling them*. International Scientific Conference, 8th Annual Meeting of the Provence-Aepes-Cote D'Azur environmental Protection Agency, 9&10 October 1996, Nice