

# Κεφάλαιο 6. Ατμοσφαιρική Ρύπανση & Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών

## 6.1. Εισαγωγή

Ατμοσφαιρική ρύπανση καλείται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που έχουν ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της δομής, της σύστασης και των χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και τα οικοσυστήματα και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να προκληθεί τόσο από φυσικά αίτια όπως οι δασικές πυρκαγιές και οι εκρήξεις των ηφαιστειών όσο και από την ανθρώπινη δραστηριότητα (κυρίως στα αστικά κέντρα).

Ως φυσικές πηγές θεωρούνται τα ηφαιστεια, από τα οποία εκλύονται κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο, οι πυρκαγιές δασών από τις οποίες εκλύονται κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις, από τις οποίες εκλύονται κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα, η βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων από όπου εκλύονται κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο, η αποσάθρωση του εδάφους από την οποία εκλύονται αιωρούμενα σωματίδια καθώς και τα φυτά και τα δέντρα από όπου εκλύονται κυρίως υδρογονάνθρακες. Ανθρωπογενείς πηγές θεωρούνται τα μέσα μεταφοράς, η οικιακή θέρμανση, οι διεργασίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι ανεπιθύμητες καύσεις, οι βιομηχανικές καύσεις καυσίμων και γενικότερα οι υπόλοιπες βιομηχανικές εκπομπές. Οι ρύποι, οι οποίοι εκπέμπονται απευθείας από μία πηγή χαρακτηρίζονται ως πρωτογενείς, ενώ εκείνοι που προκύπτουν στην ατμόσφαιρα από πρωτογενείς ρύπους έπειτα από χημικές αντιδράσεις χαρακτηρίζονται ως δευτερογενείς.

Η καύση των ορυκτών καυσίμων οδηγεί στην ατμοσφαιρική ρύπανση του αέρα από τα σωματίδια και τα οξείδια του θείου και του αζώτου. Ειδικότερα οι συνήθεις επιβλαβείς ουσίες που εκλύονται στην ατμόσφαιρα είναι το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το μονοξείδιο

του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>), το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), τα στερεά σωματίδια, όπως ο μόλυβδος, τα PM (Particulate Matter) και οι πτητικές οργανικές ουσίες (VOCs). Η κλιματική αλλαγή που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια από την αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα προκαλεί παγκόσμια ανησυχία. Το παραπάνω Οι κίνδυνοι που συνεπάγεται η παραπάνω έκθεση για την δημόσια υγεία είναι τεράστιοι και κάνουν επιτακτική την ανάγκη για την εύρεση μιας ολοκληρωμένης λύσης.

Ο τομέας των μεταφορών είναι πολύ σημαντικός, καθώς παρέχει τη δυνατότητα μετακίνησης και διευκολύνει τόσο τη βιομηχανία όσο και το εμπόριο. Παρόλα αυτά έχει αρκετές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, του κατακερματισμού των φυσικών πόρων, της κλιματικής αλλαγής, του θορύβου καθώς και της αέριας, υδάτινης και εδαφικής ρύπανσης. Τα επιβατικά αυτοκίνητα είναι υπεύθυνα για περίπου τα δύο τρίτα της ενεργειακής κατανάλωσης στις μεταφορές. Κατά τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός βιβλιογραφίας σχετικά με την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μεταφορικών συστημάτων. Μεταξύ άλλων περιλαμβάνονται οι μελέτες του Υπουργείου Μεταφορών των ΗΠΑ [2005], Gastaldi et al. [1996], Rienstra et al. [2005].

Η μείωση των αερίων εκπομπών ενός συστήματος μεταφορών, τόσο σε τοπικό όσο και παγκόσμιο επίπεδο, καθώς και η στροφή αυτού σε ένα σύστημα χαμηλών εκπομπών CO<sub>2</sub>, χωρίς την επιβράδυνση των ρυθμών ανάπτυξης αποτελεί μια πρόκληση για τη χάραξη στρατηγικής σε πολιτικό, κοινωνικό, περιβαλλοντικό και οικονομικό επίπεδο. Με βάση τα παραπάνω και προκειμένου να εκτιμηθούν οι περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών και ιδιαίτερα των οδικών, οι οποίες είναι και οι περισσότερο ενεργοβόρες, είναι σημαντικό να γίνει καταγραφή των ενεργειακών αναγκών καθώς και να παρουσιαστούν οι εξελίξεις που αφορούν το Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών.

Η επιλογή των δεδομένων αντικατοπτρίζει τους στόχους που έχουν τεθεί μέσα στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως η ζήτηση των μεταφορών, η οικονομική ανάπτυξη, η επιβατική κίνηση καθώς και το κόστος. Οι δείκτες μεταφορών αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο καθώς δίνουν μια εικόνα της προόδου της ενεργειακής απόδοσης του συστήματος. Σε αυτό το κεφάλαιο διερευνώνται οι τάσεις του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτού καθώς και οι σχέσεις μεταξύ της αύξησης των μεταφορών, των κοινωνικών και οικονομικών δραστηριοτήτων.

## 6.2. Ατμοσφαιρικοί Ρύποι

Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι [Seinfeld, 1998; Ζανής, 2008, EEA, 2012 EEA and EC, 2005]: το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ), οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), όζον ( $\text{O}_3$ ), αιωρούμενα σωματίδια ( $\text{PM}_{10}$ ), υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ενώσεις, και ο μόλυβδος ( $\text{Pb}$ ). Οι ιδιότητες και οι επιπτώσεις των κυριότερων ατμοσφαιρικών ρύπων παρουσιάζονται παρακάτω.

### Διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ )

Είναι αέριο άχρωμο, άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική μυρωδιά σε πολύ ψηλές συγκεντρώσεις. Κυριότερες πηγές προέλευσης του διοξειδίου του θείου είναι οι ηλεκτροπαραγωγοί σταθμοί, οι χημικές βιομηχανίες, τα διυλιστήρια πετρελαίου, οι κεντρικές θερμάνσεις και τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν καύσιμο με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Στην ατμόσφαιρα το  $\text{SO}_2$  αντιδρά για να σχηματίσει  $\text{SO}_3$  που εμφανίζει έντονη δραστηριότητα με υδρατμούς σχηματίζοντας ομίχλη θειικού οξέος φαινόμενο που απαντάται στο πρόβλημα ρύπανσης από όξινη βροχή. Μακροχρόνια έκθεση στο διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, να τροποποιήσει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιαγγειακές παθήσεις. Άτομα με καρδιαγγειακές, χρόνιες πνευμονολογικές παθήσεις καθώς και μικρά παιδιά και ηλικιωμένοι είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε τέτοιες συνθήκες. Υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα συμβάλλουν επίσης στη μείωση της ορατότητας, στην αύξηση της οξύτητας των λιμνών και των ποταμών και προκαλούν αλλοιώσεις στη βλάστηση και στα μέταλλα.

### Μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ )

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι αέριο άοσμο, άχρωμο, άγευστο και ελαφρύτερο του αέρα και ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Είναι ο πλέον ευρέως διαδεδομένος ρύπος. Το  $\text{CO}$  οξειδώνεται από την ελεύθερη ρίζα του  $\text{OH}$  σε  $\text{CO}_2$  με χρόνο ζωής 2-4 μήνες. Κυριότερες πηγές προέλευσης του μονοξειδίου του άνθρακα είναι οι εξατμίσεις αυτοκινήτων, ιδιαίτερα σε κλειστούς χώρους στάθμευσης ή κατά μήκος δρόμων σε περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής, και οι εξατμίσεις πάσης φύσεως μηχανών όταν συντελείται ατελής καύση. Τα αυτοκίνητα συνεισφέρουν περίπου 75% στις ανθρωπογενείς πηγές του μονοξειδίου του άνθρακα ενώ η ατελής καύση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία συνεισφέρει άλλα περίπου 25%. Το μονοξείδιο του άνθρακα μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο σε βασικούς ιστούς του οργανισμού, επιδρώντας κυρίως στο καρδιαγγειακό και νευρικό

σύστημα. Υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα προκαλούν ζαλάδες, πονοκεφάλους και κόπωση.

### **Οξείδια του Αζώτου (NO<sub>2</sub> και NO)**

Τα οξείδια του αζώτου (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) είναι συνήθως αέριοι ρύποι των καυσαερίων των οχημάτων (40-50%), προέρχονται όμως κατά 50% από διάφορες καύσεις σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> σε παγκόσμια κλίμακα υπολογίζονται σε 60 εκατ. τόνους (τέλος της δεκαετίας '80), εκ των οποίων το 54% προέρχονται από τις χώρες του ΟΟΣΑ. Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) αποτελεί πρωτογενή ρύπος ενώ το διοξείδιο (NO<sub>2</sub>) αποτελεί δευτερογενή ρύπο, ο οποίος προέρχεται από την αντίδραση του NO με το O<sub>3</sub>. Το NO<sub>2</sub> είναι αέριο με καφέ χρώμα, διαλυτό στο νερό, ισχυρό οξειδωτικό, με οξεία ερεθιστική οσμή. Σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι υπεύθυνο για την καφέ όψη του αστικού ουρανού. Τα οξείδια του αζώτου NO και NO<sub>2</sub> εμπλέκονται και ενεργοποιούν τον φωτοχημικό κύκλο αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα και το σχηματισμό έτσι της φωτοχημικής ρύπανσης και παίζουν καθοριστικό ρόλο στον έλεγχο του τροποσφαιρικού όζοντος. Η καύση ορυκτών καυσίμων κυρίως σε αυτοκίνητα, σε ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς και κεντρικές θερμάνσεις παράγουν μεταξύ άλλων και μονοξείδιο του αζώτου (NO). Η καύση ορυκτών καυσίμων και τα αυτοκίνητα συμβάλουν από 50% στις ανθρωπογενείς πηγές του NO. Αυτό με διάφορες χημικές αντιδράσεις που ενισχύονται με την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας και του όζοντος, μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>). Το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα, ιδιαίτερα σε άτομα που υποφέρουν από άσθμα και σε παιδιά. Στους ασθματικούς προκαλεί δυσκολία στην αναπνοή. Συνδράμει επίσης στη δημιουργία του όζοντος στην τροπόσφαιρα και της όξινης βροχής, επηρεάζοντας έτσι αρνητικά τη βλάστηση.

### **Όζον (O<sub>3</sub>)**

Το όζον είναι αέριο άχρωμο, βαρύτερο του αέρα. Είναι ισχυρότατο οξειδωτικό. Διαλύεται δύσκολα στο νερό γι' αυτό και μπορεί να διεισδύσει μέχρι τους πνεύμονες. Στην ανώτερη ατμόσφαιρα (στρατόσφαιρα) το όζον έχει ευεργετικό ρόλο γιατί απορροφά τις υπεριώδεις ακτινοβολίες (UV). Το όζον σχηματίζεται στην κατώτερη ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα) ως αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων μεταξύ του οξυγόνου, πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs), και οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας. Πηγές εκπομπής πρόδρομων ουσιών του όζοντος (VOCs και NO<sub>x</sub>) είναι τα οχήματα, τα χημικά εργοστάσια καθώς και τα χημικά διαλυτικά. Το όζον είναι υπεύθυνο για γνωστά προβλήματα ρύπανσης τόσο σε αστική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα όπως το φωτοχημικό νέφος, η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος και μείωση του

στρατοσφαιρικού όζοντος, καθώς και την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το όζον σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να ερεθίσει το αναπνευστικό σύστημα, προκαλώντας βήχα, αίσθημα ξηρότητας στο λαιμό και πόνο στο στήθος, φλεγμονή στους πνεύμονες και πιθανή επιδεκτικότητα σε μολύνσεις του αναπνευστικού.

### **Αιωρούμενα Σωματίδια (PM<sub>10</sub>)**

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μικρά τεμάχια ύλης σε στερεή ή υγρή φάση, που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ανάλογα με την προέλευση τους μπορούν να παρουσιάζουν ανομοιογένεια στη μορφή, μέγεθος και χημική σύσταση. Όσον πιο μικρά είναι τα σωματίδια, τόσο πιο πολύ αυξάνει η πιθανότητα εισχώρησης τους στην αναπνευστική περιοχή των πνευμόνων, όπου εναποτίθενται κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων και με την πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία των ανθρώπων. Οι κυριότερες πηγές εκπομπής αιωρουμένων σωματιδίων είναι οι διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες, τα αυτοκίνητα, οι πυρκαγιές, τα καυαλίσματα χωραφιών και άλλες γεωργικές δραστηριότητες, οι κατασκευές, η επαναιώρηση σκόνης λόγω ισχυρών ανέμων κλπ. Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν την αναπνοή και προκαλούν ασθένειες στο αναπνευστικό σύστημα, στους πνεύμονες και στην καρδιά. Τα παιδιά, τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή έχουν καρδιολογικά προβλήματα και οι ηλικιωμένοι, είναι ομάδες πληθυσμού ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρουμένων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Όσο πιο μικρά είναι τα σωματίδια τόσο πιο επικίνδυνα είναι καθώς αυξάνει η πιθανότητα εισχώρησης τους στην αναπνευστική περιοχή των πνευμόνων, όπου εναποτίθενται κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων και με την πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία των ανθρώπων. Τέτοια προβληματικά για τους πνεύμονες είναι τα σωματίδια με διάμετρο 0,1-1 mm. Η επικινδυνότητά τους εξαρτάται επίσης από τη χημική τους σύσταση.

Οι σωματιδιακές εκπομπές οδηγούν επίσης στην δημιουργία καπνού, ο οποίος προέρχεται κυρίως από τους πετρελαιοκινητήρες (Diesel). Λόγω της συνήθους ορατής χροιάς των καυσαερίων του κινητήρα Diesel στα πιο μεγάλα φορτία εξαιτίας των σωματιδιακών εκπομπών, στην πράξη γίνεται διάκριση του λεγόμενου καπνού (smoke) των εκπεμπόμενων καυσαερίων του στις εξής κατηγορίες, ανάλογα με την απόχρωση του:

**i. Λευκός Καπνός**, που αποτελείται από ομίχλη υγρών άκαυστων σωματιδίων καυσίμου και εμφανίζεται κατά την εκκίνηση εν ψυχρώ.

**ii. Κυανός Καπνός**, που αποτελείται από ομίχλη υγρών ακαύστων σωματιδίων λιπαντικού ελαίου, και εμφανίζεται όταν υπάρχει πρόβλημα με την λίπανση (π.χ. φθαρμένα ή κολλημένα ελατήρια εμβόλου)

iii. *Μελανός Καπνός ή Καπνός "Τύπου Αιθάλης"*, που αποτελείται βασικώς από λεπτά σωματίδια στερεού άκαυστου άνθρακα (ανθρακώδες υλικό), δηλαδή την αιθάλη που δημιουργείται από την πυρόλυση του καυσίμου τοπικά σε ζώνες με σχετική ανεπάρκεια οξυγόνου, εμφανιζόμενος στην περιοχή των υψηλών φορτίων (π.χ. > 85% του μεγίστου).

### Υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ενώσεις

Οι υδρογονάνθρακες θεωρούνται σημαντικοί πρωτογενείς ρύποι της ατμόσφαιρας γιατί συμβάλουν στο σχηματισμό των φωτοχημικών οξειδωτικών (τοξικές και οξειδωτικές χημικές ενώσεις που δημιουργούνται κατά το φωτοχημικό νέφος). Με τον όρο υδρογονάνθρακες χαρακτηρίζονται χιλιάδες ενώσεις που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο στο μόριο τους. Από τους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες δύο κατηγορίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην ατμοσφαιρική ρύπανση, οι αλδεύδες και οι κετόνες. Κατηγορίες οργανικών ενώσεων είναι τα αλκάνια, αλκένια, αλκίνια, αλκαδιένια, αρωματικοί υδρογονάνθρακες, αλδεύδες, κετόνες και αλογονούχες ενώσεις όπως τα CFCs. Η πιο επικίνδυνη τοξική πτητική οργανική ένωση στην ατμόσφαιρα είναι το βενζόλιο η οποία αποτελεί ένα από τα δευτερεύοντα συστατικά της βενζίνης. Πηγές βενζολίου είναι τα πρατήρια βενζίνης και τα αυτοκίνητα διανομής της, καθώς επίσης και όλες οι μηχανές που χρησιμοποιούν βενζίνη σαν καύσιμο. Το βενζόλιο σαν αυτούσια ένωση μπορεί να προκαλέσει χρόνιες παθήσεις όπως καρκίνο, αταξία στο κεντρικό νευρικό σύστημα, ζημιές στη λειτουργία του ήπατος και των νεφρών, ανωμαλίες στην αναπαραγωγή και προβληματικές γεννήσεις.

Οι πολυχλωριωμένες οργανικές ενώσεις (διοξίνες, διβενζοφουράνια, πολυχλωριωμένα διφαινύλια, PCBs) είναι ατμοσφαιρικοί αέριοι ρύποι που παράγονται από διάφορες καύσεις (καυσαέρια αυτοκινήτων, πυρκαγιές δασών, εκπομπές από υλικά μονώσεων), ή από τη χρήση φυτοφαρμάκων. Τα PCBs χρησιμοποιήθηκαν ως θερμομονωτικά και διηλεκτρικά υγρά σε μετασχηματιστές (πριν από την απαγόρευσή τους το 1985). Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες σε παγκόσμια κλίμακα για τον περιορισμό των πολυχλωριωμένων ουσιών που δεν βιοδιασπώνται στο περιβάλλον και βιοσυσσωρεύονται μέσω της τροφικής αλυσίδας (φυτοφάρμακα, κλπ). Η συνθήκη της Στοκχόλμης για τα POPs (Persistent Organic Pollutants) είχε ως σκοπό τον περιορισμό των χρήσεων και εκπομπών πολυχλωριωμένων ουσιών [Eduijee; Stockholm Convention].

### Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος είναι μαλακό μέταλλο αργυρόχρουν και ανήκει στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων. Ένα ποσοστό της σωματιδιακής σκόνης αποτελείται από σωματίδια μολύβδου. Πηγές μολύβδου αποτελούν τα διάφορου τύπου μεταφορικά μέσα που χρησιμοποιούν

μολυβδούχα βενζίνη, εργοστάσια που χρησιμοποιούν μόλυβδο ή ουσίες που περιέχουν μόλυβδο και χώροι που καίνε απορρίμματα. Υψηλά ποσοστά μολύβδου μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την πνευματική ανάπτυξη και δραστηριότητα των ανθρώπων, τη λειτουργία των νεφρών και τη χημεία του αίματος. Τα νεαρά άτομα διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο εξαιτίας της μεγαλύτερης ευαισθησίας των νεανικών ιστών και οργάνων στο μόλυβδο.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας παρέχει τη κατάλληλη τεχνογνωσία προκειμένου να γίνεται αποτελεσματική μέτρηση ενός μεγάλου αριθμού ρύπων στην ατμόσφαιρα. Οι μετρήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε με δειγματοληπτικό τρόπο και ανάλυση στο εργαστήριο είτε με συνεχή μέτρηση επιτόπου αλλά και με παρατήρηση από μακριά (τηλεπαρατήρηση) γεγονός που διευκολύνει μια τρισδιάστατη χωροχρονική καταγραφή της σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Κατά την μέτρηση ατμοσφαιρικών ρύπων δυο είναι οι βασικού στόχοι: (α) η ορθή ταυτοποίηση των ρύπων και (β) ο ποσοτικός προσδιορισμός αυτών. Τεχνικές που εφαρμόζονται συνήθως στην μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιλαμβάνουν:

- Χρωματογραφία
- Φωτομετρία
- Υπέρυθρη και Υπεριώδης φασματοσκοπία
- Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης
- Φασματοσκοπία με ακτίνες X
- Φασματομετρία μάζας
- Ηλεκτροχημικές τεχνικές

### 6.3. Τα αέρια του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι αποτέλεσμα των αερίων του θερμοκηπίου που δεσμεύουν και εκπέμπουν ξανά πίσω την ηλιακή θερμική ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης. Από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του CO<sub>2</sub> σημείωσαν αύξηση από 300 ppm το 1900 σε 360 ppm το 2000. Αναλυτικότερα σε ότι αφορά τα αέρια του θερμοκηπίου και τις τάσεις αυτών στην Ελλάδα, διακρίνονται:

#### Διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)

Η αύξηση της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα οφείλεται κατ' εξοχήν στις καύσεις των ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, πετρελαίου και παραγώγων του, και φυσικού αερίου) και βιομάζας (κυρίως ξύλου και των παραγώγων του). Ένα επίσης σημαντικό τμήμα του οφείλεται στην αποψίλωση των δασών και τη μετατροπή φυσικών οικοσυστημάτων (λιβάδια,

δάση) σε αγροτικές εκτάσεις. Οι συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα αυξήθηκαν από 83,15 εκατομμύρια τόνους το 1990 σε 113,57 εκατομμύρια τόνους το 2007, σημειώνοντας αύξηση 36,58% [ΥΠΕΚΑ, 2009]. Εκτιμάται ότι από το 1750 μέχρι σήμερα, η συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 29% και συνεχίζει να αυξάνεται κατά 0,5% κάθε χρόνο.

### Μεθάνιο (CH<sub>4</sub>)

Το μεθάνιο εκλύεται κατά την παραγωγή, τη μεταφορά και τη διανομή των ορυκτών καυσίμων (κυρίως του φυσικού αερίου), από την αποσύνθεση οργανικής ύλης στους χώρους συγκέντρωσης στερεών αποβλήτων, από γεωργικές καλλιέργειες (ορυζώνες) και από τις διαδικασίες πέψης των μηρυκαστικών. Ο τομέας της γεωργίας αποτελεί τη μεγαλύτερη ανθρωπογενή πηγή εκπομπών μεθανίου στην Ελλάδα από το 2001, αντιπροσωπεύοντας το 43,67% των συνολικών εκπομπών μεθανίου το 2007. Οι εκπομπές μεθανίου από τη γεωργία αυξήθηκαν το 2007 κατά 2,28% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Οι εκπομπές μεθανίου από απόβλητα το 2007 αντιπροσώπευαν το 34,54% των συνολικών εκπομπών και μειώθηκαν κατά 31,96% από το 1990. Οι εκπομπές μεθανίου από τον τομέα της ενέργειας αντιπροσωπεύουν το υπόλοιπο 21,79% του συνόλου των εκπομπών [ΥΠΕΚΑ, 2009].

### Υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O)

Οι ανθρωπογενείς εκπομπές του υποξειδίου του αζώτου οφείλονται κυρίως στην χρήση αζωτούχων λιπασμάτων στην γεωργία και στις βιομηχανικές διεργασίες παρασκευής νιτρικού και αδιπικού οξέος. Εκτιμάται ότι από το 1750 μέχρι σήμερα, η συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα έχει αυξηθεί κατά 11% και συνεχίζει να αυξάνεται κατά 0,25% κάθε χρόνο. Ο κλάδος της γεωργίας αποτελεί τη μεγαλύτερη ανθρωπογενή πηγή εκπομπών, οι οποίες σημείωσαν μείωση κατά 22,7% από το 1990, κυρίως λόγω των νέων γεωργικών πρακτικών που εφαρμόζονται και της χρήσης συνθετικών αζωτούχων λιπασμάτων. Το υποξείδιο του αζώτου παράγεται επίσης από την αντίδραση μεταξύ αζώτου και οξυγόνου κατά την καύση ορυκτών καυσίμων. Οι εκπομπές υποξειδίου του αζώτου από την καύση ορυκτών καυσίμων αυξήθηκαν κατά 14,53% από το 1990. Ωστόσο, οι εκπομπές από τον τομέα της ενέργειας έχουν την τάση να μειώνονται τα τελευταία χρόνια (2004-2007), κυρίως λόγω της διείσδυσης του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εκπομπές υποξειδίου του αζώτου μειώθηκαν κατά 60,37% από το 1990, λόγω της μείωσης της παραγωγής νιτρικού οξέος στην Ελλάδα. Οι εκπομπές του N<sub>2</sub>O από τον τομέα των αποβλήτων (4% του συνόλου των εκπομπών) αυξήθηκαν το 2007 κατά 5,97% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 [ΥΠΕΚΑ, 2007].



### Αλογονούχες ενώσεις

Οι αλογονούχες ενώσεις αυτές προέρχονται αποκλειστικά από ανθρωπογενείς πηγές και είναι:

- οι χλωροφθοράνθρακες και οι υδρογονοχλωροφθοράνθρακες,
- οι υπερφθοριούχοι άνθρακες (PFCs), οι οποίοι αποτελούνται μόνο από άνθρακα και φθόριο και χρησιμοποιούνται κυρίως σε διάφορες διαδικασίες της βιομηχανίας ηλεκτρονικών και παράγονται ως παραπροϊόντα στη βιομηχανία παραγωγής αλουμινίου,
- το εξαφθοριούχο θείο (SF<sub>6</sub>), το οποίο χρησιμοποιείται ως μονωτικό αέριο σε ηλεκτρικούς πίνακες υψηλής τάσεως, στην κατασκευή ημιαγωγών και σε διεργασίες χυτεύσεως του μαγνησίου.

Η διερεύνηση των επιπτώσεων που μπορεί να έχει η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου γίνεται με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων. Όλα σχεδόν τα μοντέλα που έχουν επινοηθεί και χρησιμοποιηθεί προβλέπουν ότι η σταδιακή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης θα συνεχιστεί. Διαφωνούν ως προς το μέγεθος της αύξησης. Έτσι, προβλέπονται αυξήσεις από 0,6 έως 2,5°C για τα επόμενα 50 χρόνια και από 1,4 έως 5,8°C για όλο τον 21ο αιώνα. Εκτιμάται πως η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας θα επιφέρει τη διαστολή των ωκεανών και το μερικό λιώσιμο των πάγων και του χιονιού στους πόλους που θα οδηγήσουν:

- Στην άνοδο της στάθμης των θαλασσών. Έτσι θα πλημμυρήσουν παραλιακές πόλεις ή περιοχές που βρίσκονται σήμερα περίπου στο επίπεδο της θάλασσας ή χαμηλότερα από αυτό.
- Στην περαιτέρω θέρμανση των πόλων. Αυτό θα συμβεί γιατί ο ωκεανός και η γη που θα αποκαλυφθούν αντανακλούν λιγότερο την ηλιακή ακτινοβολία από τον πάγο και το χιόνι που προϋπήρχαν.

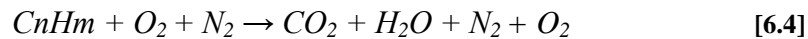
Άλλες συνέπειες θα είναι μια αύξηση στην ένταση και τη συχνότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων, καθώς και αλλαγές στην ποσότητα και την ένταση των βροχοπτώσεων. Σε ορισμένα μέρη οι βροχοπτώσεις θα αυξηθούν, ενώ σε ορισμένες άλλες περιοχές θα μειωθούν αισθητά [Houghton et al, 2001].

## 6.4. Ρύποι Εμβολοφόρων Κινητήρων

Ο τομέας των μεταφορών όπως παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια εξαρτάται από τα ορυκτά καύσιμα καθώς το 98% των ενεργειακών αναγκών του καλύπτεται από αυτά -

αντιπροσωπεύοντας το 67% της τελικής κατανάλωσης πετρελαίου στην ΕΕ των 15- ενώ παράλληλα συμβάλλει στο σχηματισμό τόσο των αερίων του θερμοκηπίου όσο και άλλων αερίων ρύπων [EC, 2000a]. Οι κυριότεροι ρύποι, οι οποίοι σχετίζονται με την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων στον τομέα των οδικών μεταφορών απαρτίζονται από σωματίδια, τα οποία προέρχονται από την ατελή καύση στο θάλαμο καύσης, από πρόδρομες ουσίες οξειποιητικών ουσιών, διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου καθώς και από αέρια του θερμοκηπίου με έμφαση στο διοξείδιο του άνθρακα.

Αναλυτικότερα, οι ρυπογόνες ουσίες από τους κινητήρες των οχημάτων σχηματίζονται λόγω της χημικής διάστασης των προϊόντων της καύσης εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στο θάλαμο καύσης, οι οποίες τοπικά φθάνουν ακόμη και τους 3000 Κ. Τα προϊόντα της καύσης, (με την παραδοχή ότι αυτή είναι τέλεια και δεν υφίσταται χημική διάσταση), δίνονται από την εξίσωση [6.4]. Οι στοιχειομετρικοί συντελεστές δεν έχουν ληφθεί υπόψη με αποτέλεσμα η εξίσωση να έχει ποιοτική μόνο αξία:



Στην πράξη όμως τα προϊόντα της τέλει καύσης υφίστανται χημική διάσταση, με αποτέλεσμα την εμφάνιση ριζών και ενώσεων στα προϊόντα όπως για παράδειγμα  $H_2O$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $N$ ,  $O$ ,  $OH$ ,  $H$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO$ ,  $HC$ , κλπ., καθώς και αρκετών άλλων όπως είναι οι αλδεΐδες, κετόνες,  $O_3$ , κλπ. Από αυτές τις αέριες ρυπογόνες ουσίες, οι κυριότερες είναι τα  $NO_x$ ,  $CO$  και  $HC$ , για τις οποίες έγινε λόγος στις προηγούμενες παραγράφους. Τα επίπεδα συγκέντρωσής τους στα καυσαέρια της εξαγωγής των εμβολοφόρων κινητήρων είναι νομοθετημένα σε πολλές χώρες με πρωτοπόρες τις Ε.Ε., Η.Π.Α. και Ιαπωνία, ακολουθώντας πρότυπες συσκευές και μεθόδους μέτρησης.

Οι τρεις αυτοί κύριοι αέριοι ρύποι εμφανίζονται και στις δύο κατηγορίες εμβολοφόρων κινητήρων, δηλαδή Diesel και Otto, παρουσιάζουν όμως αρκετά σημαντικές διαφορές στην συγκέντρωσή τους στο καυσαέριο της εξαγωγής. Τα σωματίδια που εκπέμπονται από τους κινητήρες Diesel είναι αυτά της αιθάλης (soot), ενώ σε ότι αφορά τις εκπομπές αιθάλης από τους κινητήρες Otto, αυτές είναι σχεδόν μηδαμινές με την εξαίρεση των κινητήρων Otto άμεσης έγχυσης βενζίνης (GDI).

Η ατελής καύση του άνθρακα και των προϊόντων πετρελαίου παράγει αιωρούμενα σωματίδια, τα οποία είναι επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία και αυξάνουν τόσο τη θνησιμότητα όσο και τη νοσηρότητα. Ο κίνδυνος αυξάνεται με τη συγκέντρωση σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 10 microns ( $PM_{10}$ ). Το διοξείδιο του θείου, το οποίο προέρχεται κυρίως από την καύση του άνθρακα και του πετρελαίου, συμβάλλει στο φαινόμενο της όξινης βροχής. Οι εκπομπές σε διοξείδιο του άνθρακα,  $CO_2$ , είναι σε άμεση αναλογία με την περιεκτικότητα του καυσίμου σε άνθρακα και θεωρείται ότι είναι η κύρια αιτία της

κλιματικής αλλαγής. Υπάρχουν αυξανόμενες ενδείξεις ότι οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου προκαλούν την αύξηση της θερμοκρασίας τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε ευρωπαϊκό επίπεδο [IPCC, 2001]. Το διοξείδιο του άνθρακα προέρχεται από την καύση βενζίνης, ντίζελ και κηροζίνης σε κινητήρες εσωτερικής καύσης.

## 6.5. Πρότυπα εκπομπών οχημάτων

### 6.5.1. Επιβατικά οχήματα και ελαφρά οχήματα

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση τα πρότυπα εκπομπών οχημάτων θεσπίστηκαν από το 1971 για τα επιβατικά και ελαφρού τύπου οχήματα με τα ECE Regulations σειρά 15, ενώ για τα βαρέως τύπου οχήματα τα πρότυπα θεσπίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Η λίστα προτύπων Euro για τα επιβατικά αυτοκίνητα και ελαφρού τύπου εμπορικά οχήματα αποτελείται από [Zachariadis, 2005]:

- **Πρότυπο Euro 1** (EC 93): Οδηγία 91/441/EEC για επιβατικά αυτοκίνητα ή 93/59/EEC για επιβατικά αυτοκίνητα και ελαφρά φορτηγά.
- **Πρότυπο Euro 2** (EC 96): Οδηγία 94/12/EC ή 96/69/EC.
- **Πρότυπα Euro 3/4** (2000/2005): Οδηγία 98/69/EC, περαιτέρω τροποποιήσεις στην οδηγία 2002/80/EC.
- **Πρότυπα Euro 5/6** (2009/2014): Euro 5/6 "πολιτική" νομοθεσία (κανονισμός 715/2007 20.06.2007).

Τα πρότυπα του 2000/2005 περιλαμβάνουν και τις προδιαγραφές για τα καύσιμα. Οι προδιαγραφές προβλέπουν τον ελάχιστο αριθμό κετανίου του πετρελαίου diesel, την μέγιστη περιεκτικότητα σε θείο στο diesel και στην βενζίνη και μάλιστα από το 2005 επιβάλλουν για το diesel και την βενζίνη να είναι ουσιωδώς απαλλαγμένα από θείο (<10 ppm). Οι εκπομπές ελέγχονται σύμφωνα με τη διαδικασία δυναμομέτρησης NEDC (ECE 15 και EUDC), η οποία θεσπίστηκε το 2000 και αναφέρεται στην τροποποιημένη διαδικασία δοκιμής (με στόχο την εξάλειψη των 40 sec της περιόδου προθέρμανσης του κινητήρα πριν από την αρχή της δειγματοληψίας) και αναφέρεται ως νέος Ευρωπαϊκός Κύκλος οδήγησης (New European Drive Cycle) ή ως δοκιμή MVEG-B. Όλες οι εκπομπές εκφράζονται σε g/km.

Τα Ευρωπαϊκά πρότυπα εκπομπών για τα επιβατικά αυτοκίνητα και τα ελαφρά εμπορικά οχήματα (κατηγορίες οχημάτων M1, οχήματα για τη μεταφορά επιβατών που περιλαμβάνουν μέχρι 8 θέσεις εκτός από αυτή του οδηγού, και N1 οχήματα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά προϊόντων και έχουν μέγιστη μάζα που δεν υπερβαίνει τους 3.5 τόνους) συνοψίζονται στους ακόλουθους Πίνακες (Πίνακες 6.5.1.α και 6.5.1.β). Επισημαίνεται πως

για τα πρότυπα Euro 1 και Euro 2 της κατηγορίας N1 οι κλάσεις της μάζας αναφοράς ήταν η Κλάση I  $\leq 1250$  kg, η Κλάση II 1250-1700 kg και η Κλάση III  $> 1700$  kg. Από το πρότυπο Euro 2, οι κανονισμοί της Ε.Ε. εισάγουν διαφορετικά όρια εκπομπής για τα οχήματα Diesel και Otto. Από τους Πίνακες 6.5.1.α και 6.5.1.β γίνεται αντιληπτό πως τα οχήματα με κινητήρες Diesel έχουν αυστηρότερα πρότυπα για τις εκπομπές CO και χαμηλότερα για τις εκπομπές NOx. Τα οχήματα με κινητήρες Otto απαλλάσσονται από τα πρότυπα σωματιδίων μέχρι το Euro 4. Οι κανονισμοί Euro 5 και 6 εισάγουν τα πρότυπα εκπομπής σωματιδίων βασισμένα στη μάζα για τα αυτοκίνητα με κινητήρες Otto άμεσης έγχυσης (GDI), αριθμητικά ίσα με τα πρότυπα για τα οχήματα Diesel.

Πρότυπο	Ημερομηνία	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
<b>Diesel g/km</b>						
<b>Euro 1</b>	1992.07	2.72 (3.16)*	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)
<b>Euro 2 IDI</b>	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08
<b>Euro 2 DI</b>	1996.01a	1.0	-	0.9	-	0.10
<b>Euro 3</b>	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05
<b>Euro 4</b>	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025
<b>Euro 5</b>	2009.09b	0.50	-	0.23	0.18	0.005e
<b>Euro 6</b>	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005e
<b>Βενζίνη g/km</b>						
<b>Euro 1</b>	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	-
<b>Euro 2</b>	1996.01	2.2	-	0.5	-	-
<b>Euro 3</b>	2000.01	2.30	0.20	-	0.15	-
<b>Euro 4</b>	2005.01	1.0	0.10	-	0.08	-
<b>Euro 5</b>	2009.09b	1.0	0.10c	-	0.06	0.005d,e
<b>Euro 6</b>	2014.09	1.0	0.10c	-	0.06	0.005d,e

**Πίνακας 6.5.1.α. Πρότυπα εκπομπών Ευρωπαϊκής Ένωσης για επιβατικά οχήματα (κατηγορία M1)**

\*Οι τιμές στις παρενθέσεις είναι σύμφωνα με τα νόμιμα όρια παραγωγής (COP)

a Μέχρι τις 1999.09.30 (μετά από την ημερομηνία αυτή οι κινητήρες DI πρέπει να λειτουργούν εντός των ορίων των IDI).

b 2011.01 για όλα τα μοντέλα.

c Και για τους HC χωρίς μεθάνιο 0.068 g/km.

d Εφαρμόσιμο μόνο για οχήματα που χρησιμοποιούν κινητήρες αμέσου εγχύσεως.

e Έχει προταθεί να αλλάξει σε 0.003 g/km χρησιμοποιώντας τη μέθοδο μέτρησης PMP.

Σε ότι αφορά τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, η Ε.Ε. έχει υπογράψει “συμφωνίες κυρίων” με την Ευρωπαϊκή (ACEA), Ιαπωνική και Κορεατική ένωση κατασκευαστών αυτοκινήτων για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, σύμφωνα με τις οποίες η προτεινόμενη τιμή CO<sub>2</sub> για το 2012 ανέρχεται σε 130g /km. Σημειώνεται πως το 2008 ο στόχος για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> έφθανε τα 140 g /km για το μέσο όρο των νέων αυτοκινήτων που πωλούνταν το 2008 [EK, 1998].

Κατηγορία	Πρότυπο	Ημερομηνία	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
<b>Diesel g/km</b>							
N1, Class I≤1305 kg	Euro 1	1994.10	2.72	-	0.97	-	0.14
	Euro 2,IDI	1998.01	1.0	-	0.70	-	0.08
	Euro 2, DI	1998.01a	1.0	-	0.90	-	0.10
	Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05
	Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025
	Euro 5	2009.09b	0.50	-	0.23	0.18	0.005e
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005e	
N1, Class II1305-1760 kg	Euro 1	1994.10	5.17	-	1.40	-	0.19
	Euro 2 IDI	1998.01	1.25	-	1.0	-	0.12
	Euro 2,DI	1998.01a	1.25	-	1.30	-	0.14
	Euro 3	2001.01	0.80	-	0.72	0.65	0.07
	Euro 4	2006.01	0.63	-	0.39	0.33	0.04
	Euro 5	2010.09c	0.63	-	0.295	0.235	0.005e
Euro 6	2015.09	0.63	-	0.195	0.105	0.005e	
N1, Class III >1760 kg	Euro 1	1994.10	6.90	-	1.70	-	0.25
	Euro 2 IDI	1998.01	1.5	-	1.20	-	0.17
	Euro 2, DI	1998.01a	1.5	-	1.60	-	0.20
	Euro 3	2001.01	0.95	-	0.86	0.78	0.10
	Euro 4	2006.01	0.74	-	0.46	0.39	0.06
	Euro 5	2010.09c	0.74	-	0.350	0.280	0.005e
Euro 6	2015.09	0.74	-	0.215	0.125	0.005e	
<b>Βενζίνη g/km</b>							
N1, Class I≤1305 kg	Euro 1	1994.10	2.72	-	0.97	-	-
	Euro 2	1998.01	2.2	-	0.50	-	-
	Euro 3	2000.01	2.3	0.20	-	0.15	-
	Euro 4	2005.01	1.0	0.1	-	0.08	-
	Euro 5	2009.09b	1.0	0.10f	-	0.06	0.005d,e
	Euro 6	2014.09	1.0	0.10f	-	0.06	0.005d,e
N1, Class II 1305 – 1760 kg	Euro 1	1994.10	5.17	-	1.40	-	-
	Euro 2	1998.01	4.0	-	0.65	-	-
	Euro 3	2001.01	4.17	0.25	-	0.18	-
	Euro 4	2006.01	1.81	0.13	-	0.10	-
	Euro 5	2010.09c	1.81	0.13g	-	0.075	0.005d,e
	Euro 6	2015.09	1.81	0.13g	-	0.075	0.005d,e
N1, Class III>1760 kg	Euro 1	1994.10	6.90	-	1.70	-	-
	Euro 2	1998.01	5.0	-	0.80	-	-
	Euro 3	2001.01	5.22	0.29	-	0.21	-
	Euro 4	2006.01	2.27	0.16	-	0.11	-
	Euro 5	2010.09c	2.27	0.16h	-	0.082	0.005d,e
	Euro 6	2015.09	2.27	0.16h	-	0.082	0.005d,e

Πίνακας 6.5.1.β. Πρότυπα εκπομπών Ευρωπαϊκής Ένωσης για ελαφρού τύπου εμπορικά οχήματα

a Μέχρι τις 1999.09.30 (μετά από την ημερομηνία αυτή οι κινητήρες DI πρέπει να λειτουργούν εντός των ορίων των IDI).

b 2011.01 για όλα τα μοντέλα.

c 2012.01 για όλα τα μοντέλα.

d Εφαρμόσιμο μόνο σε οχήματα που έχουν κινητήρες DI

e Έχει προταθεί να αλλάξει σε 0.003 g/km χρησιμοποιώντας τη διαδικασία μέτρησης PMP.

f Και για τους NMHC = 0.068 g/km.

g Και για τους NMHC = 0.090 g/km.

h Και για τους NMHC = 0.108 g/km.

### 6.5.2. Βαρέως τύπου οχήματα

Η πρώτη οδηγία της Ε.Ε. για τη ρύθμιση των εκπομπών από τα βαρέως τύπου οχήματα (τεχνικά επιτρεπόμενη μέγιστη μάζα φόρτωσης πάνω από 3500 kg), δημοσιεύθηκε το 1988 (88/77/EEC). Το 2005, οι κανονισμοί ανασχηματίστηκαν και παγιώθηκαν από την οδηγία 05/55/EC. Ο Πίνακας 6.5.2.α συνοψίζει τα Ευρωπαϊκά πρότυπα για κινητήρες Diesel. Η λίστα των προτύπων περιλαμβάνει μεταξύ άλλων:

- Τα πρότυπα Euro I (1992) και Euro II (1996), τα οποία αναφέρονται σε κινητήρες φορτηγών και σε αστικά λεωφορεία.
- Euro III (1999/96/EC)
- Euro IV/V (2005/2008): Θέσπιση προαιρετικών αλλά και αυστηρότερων ορίων εκπομπής για οχήματα.
- Euro VI (COM (2007) 851) : Θέσπιση νέων ορίων, συγκρίσιμα σε αυστηρότητα με τα αντίστοιχα πρότυπα των Η.Π.Α. για το 2010.

Η δοκιμή ECER-49, η οποία χρησιμοποιήθηκε στο πρότυπο Euro III το 2000, αντικαταστάθηκε από τον Ευρωπαϊκό Κύκλο μόνιμης λειτουργίας ESC (European Stationary Cycle) και τον Ευρωπαϊκό μεταβατικό Κύκλο ETC (European Transient Cycle). Η αμαυρότητα του καπνού μετριέται με τη δοκιμή ELR (European Load Response). Τα πρότυπα εκπομπής για τους κινητήρες Diesel που ελέγχονται στον Κύκλο δοκιμής ETC συνοψίζονται στον Πίνακα 6.5.2.β. Για την πιστοποίηση εκπομπών σύμφωνα με το Euro VI, θα εφαρμοστεί ο παγκόσμιος εναρμονισμένος μεταβατικός κύκλος WHTC (World Harmonized Transient Cycle). Τα νέα όρια θα εισαχθούν μόλις καθιερωθούν οι παράγοντες συσχετισμού με τις δοκιμές ESC και ETC.

Τα πρότυπα Euro IV εφαρμόστηκαν το 2005 στην Ευρώπη για τα βαρέως τύπου οχήματα Diesel, θέτοντας πολύ χαμηλές τιμές για τις εκπομπές σωματιδίων, έχοντας ως στόχο οι κατασκευαστές να χρησιμοποιούν παγίδες σωματιδίων προκειμένου να ανταποκριθούν στις χαμηλές τιμές.

Πρότυπο	Ημερομηνία	Δοκιμή	CO	HC	NOx	PM	Αιθάλη
	1992, < 85 kW		4.5	1.1	8.0	0.612	
<b>Euro I</b>	1992, < 85 kW		4.5	1.1	8.0	0.36	
	1996.10	<b>ECE R-49</b>	4.0	1.1	7.0	0.25	
<b>Euro II</b>	1998.10		4.0	1.1	7.0	0.15	
	1999.10 EEVs only		1.5	0.25	2.0	0.02	0.15
<b>Euro III</b>			2.1	0.66	5.0	0.10	0.8
	2000.10	<b>ESC &amp; ELR</b>	1.5	0.46	3.5	0.13 <sup>a</sup>	
<b>Euro IV</b>	2005.10		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5
<b>Euro V</b>	2008.10		1.5	0.46	2.0	0.02	0.5
<b>Euro VI<sup>+</sup></b>	2013.04 <sup>b</sup>		1.5	0.13	0.4	0.01	

Πίνακας 6.5.α. Πρότυπα Εκπομπών Ευρωπαϊκής Ένωσης για Κινητήρες Diesel Βαρέως Τύπου, g/kWh (αιθάλη σε m<sup>-1</sup>).

+ Προτάθηκε στις 21/12/2007.

a Για κινητήρες με όγκο εμβολισμού μικρότερο από 0.75 dm<sup>3</sup> ανά κύλινδρο.

b 2014.10 για όλα τα μοντέλα

Πρότυπο	Ημερομηνία	Δοκιμή	CO	NMHC	CH <sub>4</sub>	NOx <sup>a</sup>	PM <sup>b</sup>
	1999.10 EEVs only ETC		3.0	0.40	0.65	2.0	0.02
<b>Euro III</b>	2000.10		5.45	0.78	1.6	5.0	0.16
		<b>ETC</b>					0.21c
<b>Euro IV</b>	2005.10		4.0	0.55	1.1	3.5	0.03
<b>Euro V</b>	2008.10		4.0	0.55	1.1	2.0	0.03
<b>Euro VI<sup>+</sup></b>	2013.04d		4.0	0.16e	0.5	0.4	0.01

Πίνακας 6.5.β. Πρότυπα Εκπομπών Ευρωπαϊκής Ένωσης για Κινητήρες Diesel και αερίου, g/kWh

+ Προτάθηκε στις 21/12/2007.

a Μόνο για κινητήρες αερίου (Euro III-V: μόνο NG, Euro VI: NG + LPG)

b Μη εφαρμόσιμο για κινητήρες με αέριο καύσιμο στα στάδια Euro III-IV.

c Για κινητήρες με όγκο εμβολισμού μικρότερο από 0.75 dm<sup>3</sup> ανά κύλινδρο.

d 2014.10 για όλα τα μοντέλα.

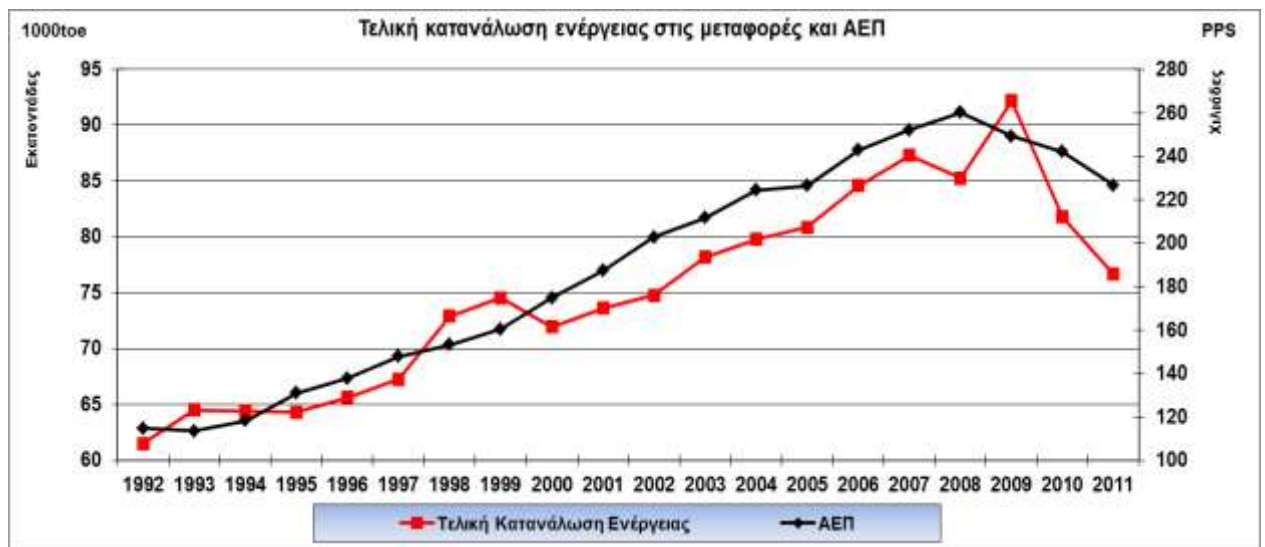
e THC για κινητήρες Diesel.

## 6.6. Ενέργεια, Περιβάλλον και Μεταφορές

Οι μεταφορές και η ενεργειακή κατανάλωση είναι στενά συνδεδεμένες καθώς η αυξημένη ζήτηση στις μεταφορές οδηγεί σε αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Τις τελευταίες δεκαετίες σημειώθηκε μια ιδιαίτερα σημαντική αύξηση στο συνολικό διακινούμενο όγκο εμπορευμάτων και επιβατών τόσο σε αστικό όσο και σε υπεραστικό επίπεδο. Βασικοί

παράγοντες που συντέλεσαν στην αύξηση της ζήτησης για τις μεταφορές αποτέλεσαν η αύξηση των ΑΕΠ και των διαθέσιμων οικογενειακών εισοδημάτων, η διεθνοποίηση με την επακόλουθη μείωση των εμποδίων στο διεθνές εμπόριο, η μείωση του κόστους μεταφοράς, οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι χρήσεις γης για τις διάφορες δραστηριότητες. Ως αποτέλεσμα η μέση ημερήσια κινητικότητα στην ΕΕ-15 αυξήθηκε από 17 χλμ. ημερησίως το 1975 σε 37 χλμ. το 1999, με το ποσοστό του οικογενειακού εισοδήματος που καταναλωνόταν για την μετακίνηση να αγγίζει το 15% [EEA, 2005].

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η ζήτηση στον τομέα των μεταφορών είναι άμεσα συνδεδεμένη με την οικονομική ανάπτυξη, είναι χρήσιμο να εξεταστούν οι τάσεις που αφορούν την ενεργειακή κατανάλωση στον τομέα των μεταφορών στην Ελλάδα και του ΑΕΠ. Το **Διάγραμμα 6.6.α** παρουσιάζει μια ανοδική τάση τόσο στην κατανάλωση ενέργειας του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών όσο και του ΑΕΠ για την περίοδο από το 1992 μέχρι και το 2007, ενώ από το 2008 μέχρι και το 2011 σημειώθηκε πτωτική τάση, η οποία αποδίδεται κυρίως στις συνέπειες της οικονομικής κρίσης. Η κατανάλωση ενέργειας στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών αυξήθηκε περίπου 40% ανάμεσα στο 1992 και το 2007 με ετήσιο ρυθμό αύξησης 2,2% (**Διάγραμμα 6.6.α**), ενώ από το 2008 στο 2011 σημείωσε πτώση περίπου 10%.



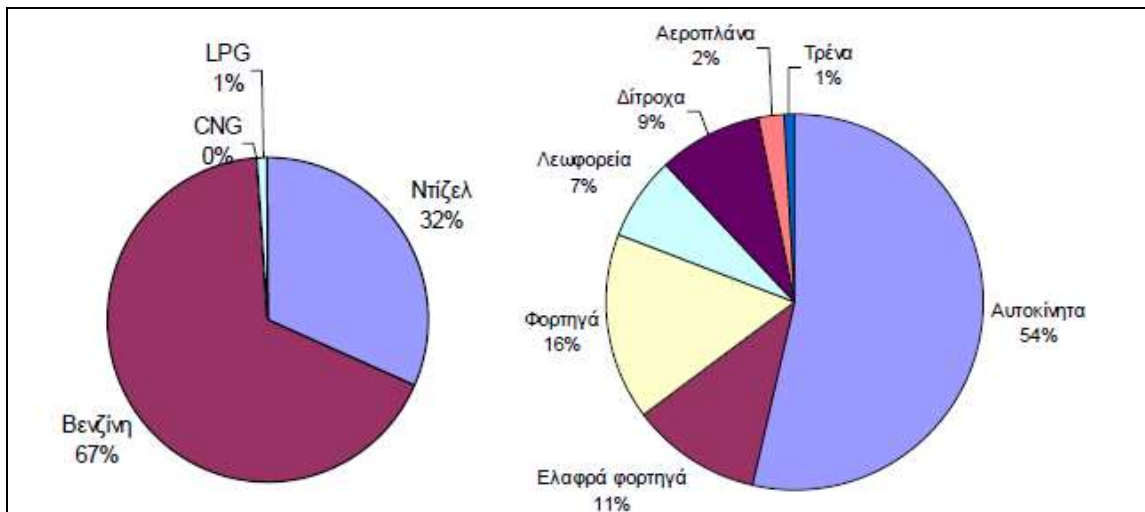
**Διάγραμμα 6.6.α.** Τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές (εκφρασμένη σε 1000toe) και ΑΕΠ (εκφρασμένο σε εκατομμύρια αγοραστικής δύναμης –PPS) στην Ελλάδα για το διάστημα 1992-2011 [Eurostat, 2013]

Το 81% της ενεργειακής κατανάλωσης στις μεταφορές, το 2001 οφειλόταν στις οδικές μεταφορές ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το 1991 ήταν 77%. Το ποσοστό των αεροπορικών μεταφορών ελαττώθηκε από 22% το 1991 σε 18% το 2001. Τα ποσοστά που αφορούν τις



σιδηροδρομικές μεταφορές διατηρήθηκαν σταθερά κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1990, αντιπροσωπεύοντας το 1% των μεταφορών.

Το Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών εξαρτάται από τα πετρελαιοειδή προϊόντα. Όπως παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 6.6.β** η χρήση καυσίμων εκτός βενζίνης και ντίζελ (diesel) στις οδικές μεταφορές είναι εξαιρετικά χαμηλή (μετά το 2006 ωστόσο υπήρξε αύξηση συμμετοχής του βιοντίζελ). Το 2001 το 99, 5% της καταναλωθείσας ενέργειας στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών προήλθε από πετρελαιοειδή προϊόντα, ποσοστό το οποίο διατηρήθηκε σχεδόν μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 2000. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι όπως στην Ευρωπαϊκή Ένωση έτσι και στην Ελλάδα οι οδικές μεταφορές θα πρέπει να είναι τομέας προτεραιότητας σε σχέση με πολιτικές και δράσεις που σχετίζονται με την ενέργεια και τον στρατηγικό σχεδιασμό ενός βιώσιμου συστήματος μεταφορών.

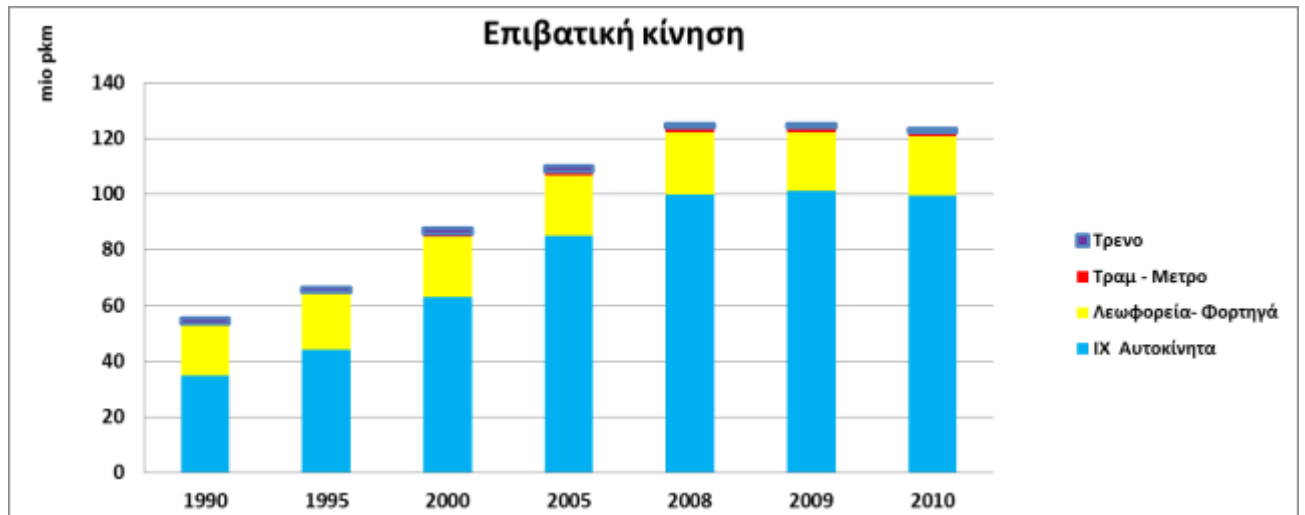


**Διάγραμμα 6.6.β. Κατανομή κατανάλωσης καυσίμων και οχημάτων στόλου για το 2005**

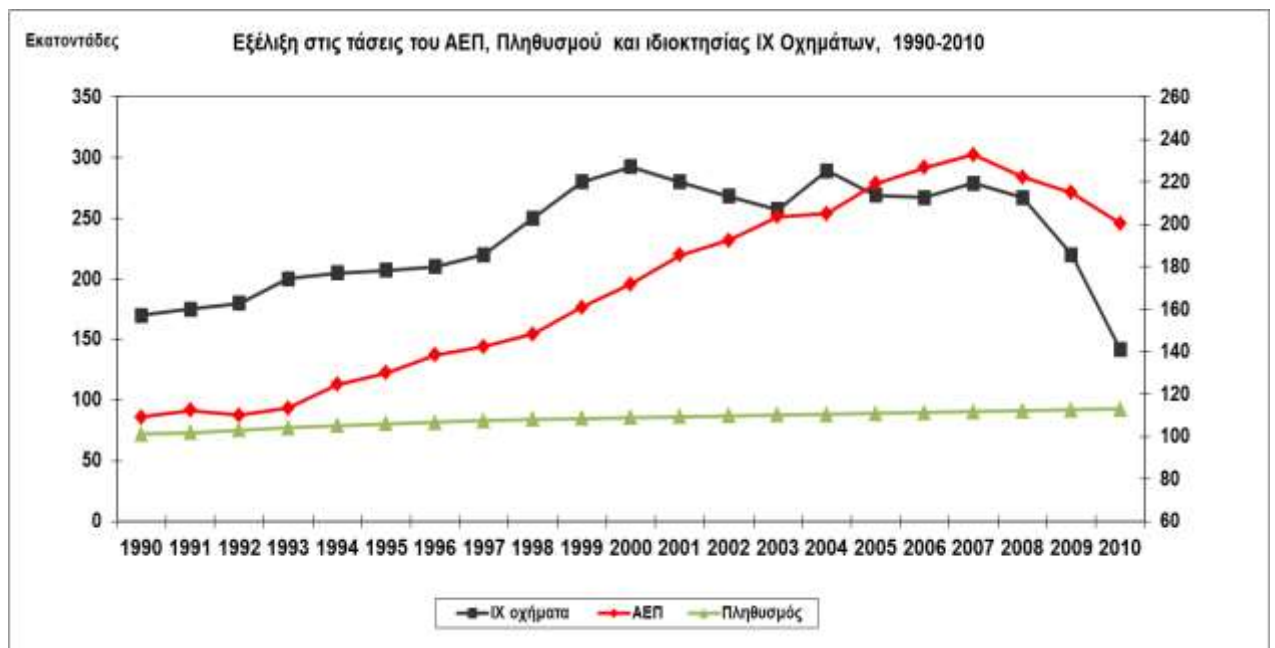
Οι τάσεις στη ζήτηση των επιβατικών μεταφορών ακολουθούν τις τάσεις του ΑΕΠ. Ο αριθμός των επιβατών-χιλιομέτρων που διανύθηκαν στην Ελλάδα σημείωσε αύξηση από το 1990 ακολουθώντας τις μεταβολές του ΑΕΠ (**Διάγραμμα 6.6.β**). Είναι προφανές ότι η αύξηση του ΑΕΠ και κατά συνέπεια των εισοδημάτων επέτρεψε να γίνονται συχνότερα ταξίδια. Οι μεταφορές με τα ιδιωτικής χρήσης οχήματα έγιναν πιο γρήγορες και συχνότερες σε σύγκριση με τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Επιπλέον, η αύξηση των αποστάσεων προς τη δουλειά και προς ψυχαγωγικές δραστηριότητες συνέβαλαν στην αύξηση της επιβατικής κίνησης.

Ο αριθμός των επιβατικών αυτοκινήτων ανά κάτοικο μεταξύ 1990 και 2007, αυξανόταν σε ποσοστό μεγαλύτερο από το ποσοστό αύξησης του ΑΕΠ, ενώ η αύξηση του πληθυσμού, για το ίδιο χρονικό διάστημα, φαίνεται να ήταν σταθερή (**Διάγραμμα 6.6.γ**). Σημειώνεται πως από το 2001 έως το 2007 η ποσότητα των νεοταξινομημένων Ι.Χ. αυτοκινήτων στην Ε.Ε. αυξάνονταν σταθερά σε ετήσια βάση, φτάνοντας το 2007 στα 15,5 εκατομμύρια αυτοκίνητα. Το 2011 ωστόσο καταγράφηκε, εξαιτίας των επιπτώσεων της οικονομικής ύφεσης, πτώση

στις πωλήσεις των αυτοκινήτων, ποσοστό, το οποίο στην Ελλάδα άγγιξε το 31% και είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στο Ελληνικό Σύστημα Μεταφορών και στο ΑΕΠ ( Διάγραμμα 6.6.α).



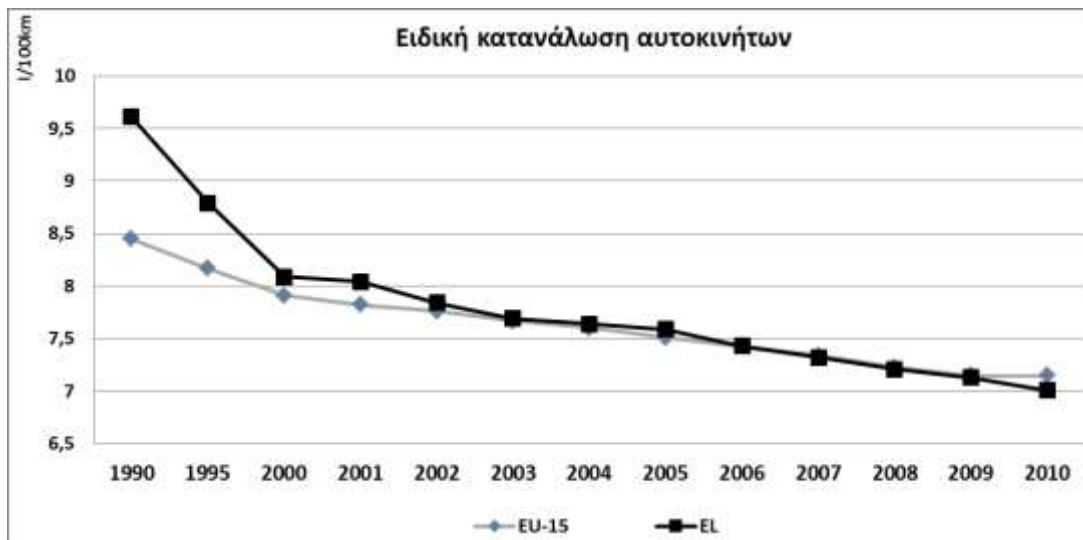
Διάγραμμα 6.6.β. Επιβατική κίνηση στην Ελλάδα εκφρασμένη σε επιβάτες ανά χιλιόμετρα [ Eurostat, pocketbook, 2012]



Διάγραμμα 6.6.γ. Τάσεις στην εξέλιξη του αριθμού ΙΧ. αυτοκινήτων ανά κάτοικο στην Ελλάδα για την περίοδο 1990 -2010. Ο αριθμός των αυτοκινήτων εκφράζεται σε οχήματα ανά 1000 κατοίκους, το ΑΕΠ σε P.P.S. (purchasing power standard) ανά κάτοικο και ο πληθυσμός σε εκατ. κατοίκων.

Το 2010 ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης του τομέα των μεταφορών βελτιώθηκε κατά 28% σε σχέση με το 1990. Παρόλα αυτά, μετά το 2005 ο δείκτης παρουσιάζει μικρή αύξηση, λόγω της ραγδαίας αύξησης της ειδικής κατανάλωσης ανά τονο-χλμ των ελαφρών οχημάτων

και των φορτηγών, εξαιτίας της οικονομικής ύφεσης (ο ίδιος αριθμός φορτηγών μεταφέρει μικρότερα φορτία). Αντιθέτως, όπως παρουσιάζεται και στο **Διάγραμμα 6.6.δ** η ενεργειακή απόδοση των ιδιωτικών επιβατικών οχημάτων, παρουσιάζει σταθερή βελτίωση κυρίως λόγω της κυκλοφορίας καινούργιων, ενεργειακά αποδοτικών οχημάτων, γεγονός που οδηγεί στην βελτίωση του δείκτη ενεργειακής απόδοσης της εν λόγω κατηγορίας οχημάτων κατά 26% το 2010 σε σχέση με το 1990. Μέτρα όπως η φορολόγηση οχημάτων με υψηλές εκπομπές CO<sub>2</sub>, η συνεχής πληροφόρηση και εκπαίδευση καθώς και προώθηση της οικολογικής οδήγησης οδήγησαν στην παραπάνω βελτίωση [CREC, 2012].



**Διάγραμμα 6.6.δ.** Ειδική κατανάλωση καυσίμων αυτοκινήτων για την περίοδο 1990 με 2010. Εκφράζει την αναλογία ανάμεσα στη συνολική κατανάλωση των αυτοκινήτων, το απόθεμα των αυτοκινήτων και της μέσης ετήσιας διανυθείσας απόστασης [Odysee database, 2013].

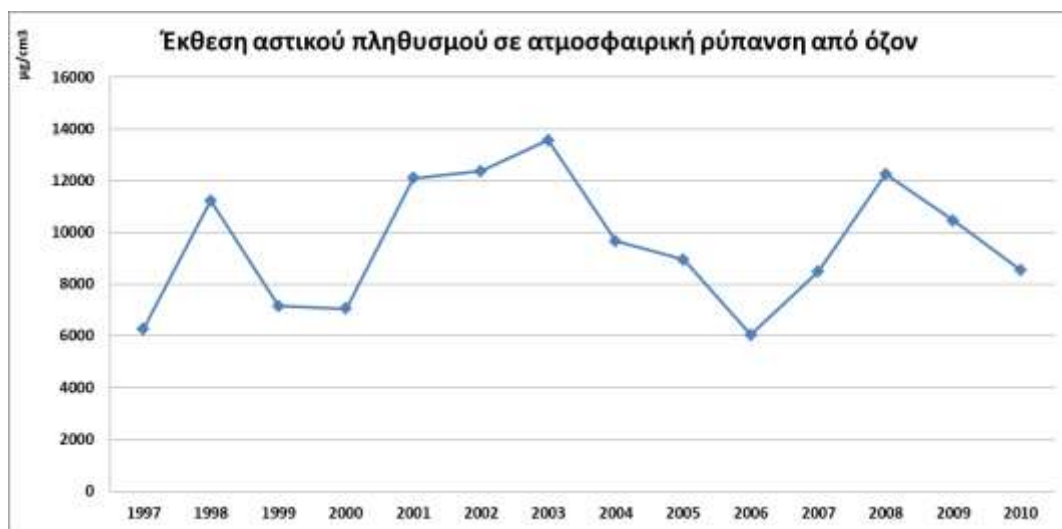
## 6.7. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

### 6.7.1. Αέριοι Ρύποι

Οι εκπομπές πρόδρομων ουσιών όζοντος στην ΕΕ-32 ανάμεσα στο 1990 και το 2010 ελαττώθηκαν. Αναλυτικότερα τα οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>) μειώθηκαν κατά 42%, οι μη πτητικές μεθανικές οργανικές ενώσεις (NMVOC) κατά 53%, το μονοξειδίο του άνθρακα (CO) κατά 61%, και το μεθάνιο (CH<sub>4</sub>) κατά 32%. Οι συνολικές εκπομπές των μη πτητικών μεθανικών οργανικών ενώσεων (NMVOC), οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), μονοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου (CH<sub>4</sub>) συνεισφέρουν στον σχηματισμό του τροποσφαιρικού όζοντος. Το **Διάγραμμα 6.7.1.α** παρουσιάζει την έκθεση του αστικού πληθυσμού στην ατμοσφαιρική ρύπανση από όζον στην Ελλάδα για τη διάρκεια της περιόδου 1997-2010. Το 2007, το 39,4%

των εκπομπών προδρόμων ουσιών όζοντος προερχόταν από τις μεταφορές. Η ελάττωση σχετίζεται με την εφαρμογή μέτρων για τη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων.

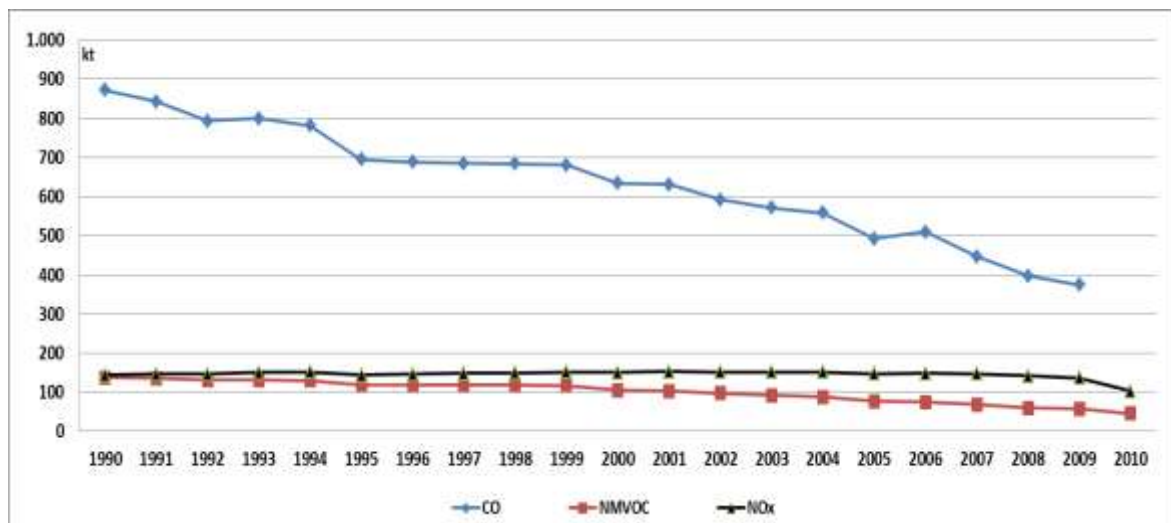
Οι συγκεντρώσεις NO<sub>x</sub> από τον τομέα των οδικών μεταφορών, παρέμειναν σχεδόν σταθερές, σημειώνοντας μικρή πτωτική τάση το 2010. (Διάγραμμα 6.7.1.β). Η συνολική συγκέντρωση NO<sub>x</sub> το 2010 στην Ελλάδα έφθασε τα 315,5 Gg, από τα οποία 33% προερχόταν από τις οδικές μεταφορές, 15% από τον υπόλοιπο τομέα των μεταφορών ενώ το 52% από την χρήση και διανομή ενέργειας. Οι εκπομπές CO από τις οδικές μεταφορές ελαττώθηκαν κατά 56% ανάμεσα στο 1990 και 2010 όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 6.7.1.β. Η αυξημένη διείδυση καταλυτικών αυτοκινήτων στον επιβατικό στόλο συνέβαλε στη παραπάνω μείωση.



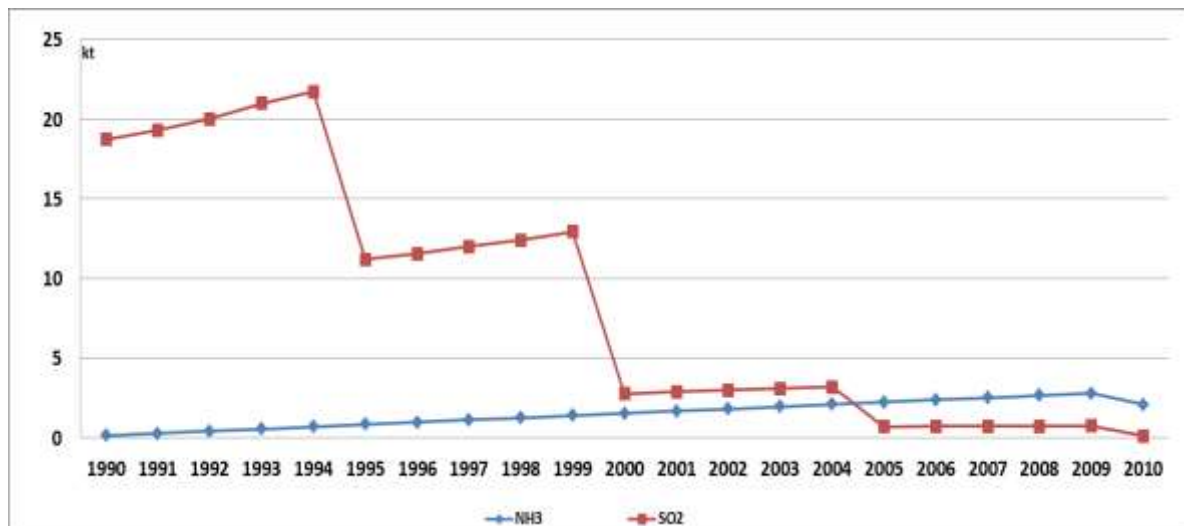
Διάγραμμα 6.7.1.α. Έκθεση αστικού πληθυσμού σε ατμοσφαιρική ρύπανση από όζον [Eurostat database, 2013].

Οι εκπομπές NMVOC από τις οδικές μεταφορές το 2010 σημείωσαν πτώση κατά 61% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 (Διάγραμμα 6.7.1.β). Η συνολική συγκέντρωση NMVOC το 2010 στην Ελλάδα έφθασε τα 183,5 Gg, από τα οποία 25% προερχόταν από τις οδικές μεταφορές, 1% από τον υπόλοιπο τομέα των μεταφορών, 27% από την χρήση και διανομή ενέργειας και 17% από βιομηχανικές διεργασίες. Οι εκπομπές αμμωνίας (NH<sub>3</sub>) από τις οδικές μεταφορές παρέμειναν σχεδόν στα ίδια επίπεδα ανάμεσα στο 1990 και το 2010 (Διάγραμμα 6.7.1.γ). Η συνολική συγκέντρωση NH<sub>3</sub> το 2010 στην Ελλάδα έφθασε τα 64,6 Gg, από τα οποία 3% προερχόταν από τις οδικές μεταφορές και 97% από γεωργικές δραστηριότητες. Οι εκπομπές διοξειδίου του θείου, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 6.7.1.γ από τον τομέα των οδικών μεταφορών σημείωσαν σημαντική πτώση κατά τη διάρκεια της περιόδου 1990-2010. Η συνολική συγκέντρωση SO<sub>2</sub> το 2010 στην Ελλάδα έφθασε τα 265,6 Gg, από τα οποία 85% προερχόταν από τη χρήση και διανομή ενέργειας, 13% από τον τομέα των οδικών μεταφορών (εκτός των οδικών) και 2% από βιομηχανικές διεργασίες.

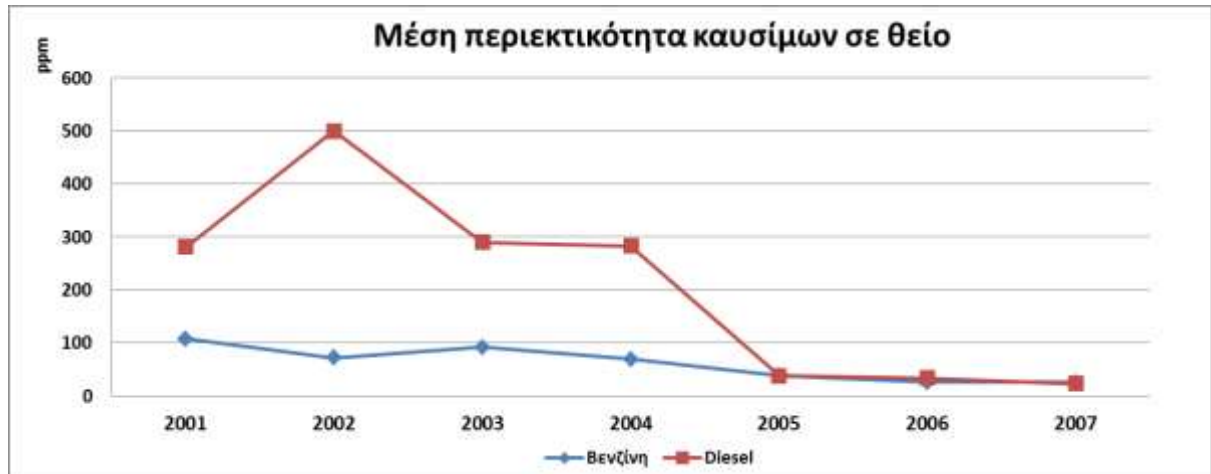
Οι παραπάνω μειώσεις στις εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων στις οδικές μεταφορές, οφείλονται τόσο στην αύξηση του ποσοστού των καταλυτικών αυτοκινήτων, το οποίο είχε ως συνέπεια την μείωση της περιεκτικότητας των υγρών καυσίμων σε θείο (**Διάγραμμα 6.7.1.δ**) και την ανανέωση του επιβατικού στόλου (από το 1990 μέχρι και το 2007) όσο και στην οικονομική κρίση, η οποία είχε ως συνέπεια την μείωση της κατανάλωσης στον τομέα των οδικών μεταφορών. Τέλος οι εκπομπές σωματιδίων εξαιτίας των οδικών μεταφορών παρέμειναν σχεδόν σταθερές μεταξύ 1990 και 2007. Κατά τη διάρκεια της περιόδου 2005-2007, 4-30 % του αστικού πληθυσμού εκτέθηκε σε καθημερινή μέση συγκέντρωση  $PM_{10}$  σωματιδίων πάνω από τα καθορισμένα ενδεικτικά επιτρεπόμενα όρια ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



**Διάγραμμα 6.7.1.β.** Εκπομπές CO, NMVOC και NO<sub>x</sub> από τον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα για την περίοδο 1990-2010 [CEIP database, 2013]



**Διάγραμμα 6.7.1.γ.** Εκπομπές NH<sub>3</sub> και SO<sub>2</sub> από τον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα για την περίοδο 1990-2010 [CEIP database, 2013]



Διάγραμμα 6.7.1.δ. Μέση περιεκτικότητα υγρών καυσίμων σε θείο [ypaka.gr]

## 6.7.2. Αέρια του Θερμοκηπίου

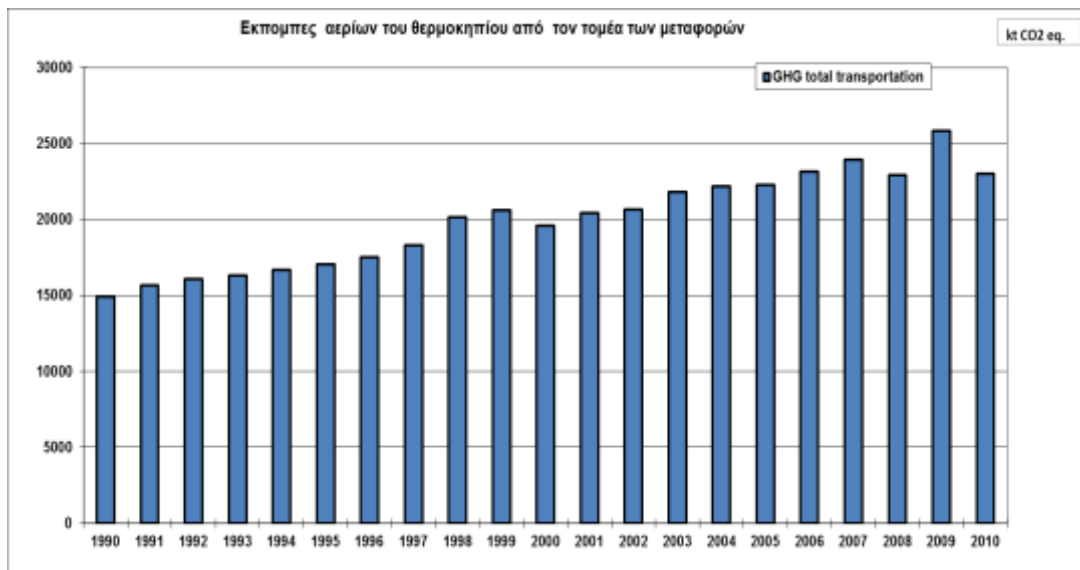
Το σύνολο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ-27, το 2010, ανήλθε σε 4.721 εκατ. τόνους ισοδυνάμου διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> και ήταν μειωμένο κατά 15,4% σε σύγκριση με το 1990. Το ίδιο έτος οι εκπομπές αερίων στην ΕΕ-15 ανήλθαν σε 3.798 εκατ. τόνους (μείωση κατά 10,6% σε σχέση με το 1990), αντιπροσωπεύοντας το 80,4% των συνολικών εκπομπών (έναντι 76,1% το 1990). Η Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο είναι υπεύθυνες για το μεγαλύτερο μέρος των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονταν στην ΕΕ το 2010 (32,3% των συνολικών εκπομπών της ΕΕ-27 και 40,2% των ρύπων της ΕΕ-15), ενώ ακολουθούν η Γαλλία (11,1% της ΕΕ-27 το 2010) και η Ιταλία (10,6% αντίστοιχα). Εξάλλου, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος [EEA, 2012], οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου μειώθηκαν το 2011, σε σύγκριση με το 2010, κατά 1,3% στην Ελλάδα, κατά 3,5% στην ΕΕ-15 και κατά 2,5% στην ΕΕ-27.

Το μεγαλύτερο ποσοστό (56,0%) αερίων του θερμοκηπίου το 2010 προήλθε από τον τομέα των ενεργειακών βιομηχανιών, ενώ το 24,7% προήλθε από τον τομέα των μεταφορών, το 7,3% από τον τομέα των μεταποιητικών βιομηχανιών και το 10,6% από τον τομέα των κατασκευών. Το υπόλοιπο 1,5% των εκπομπών προήλθε από διαρροές καυσίμων (fugitive emissions). Ο τομέας των μεταφορών, όπως δείχνει το **Διάγραμμα 6.7.2.α** παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αύξηση στις συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου από το 1990, με ένα μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 2,3%, ενώ ακολουθεί ο τομέας των ενεργειακών βιομηχανιών και ένα σύνολο τομέων (οικιακός, τριτογενής και αγροτικός) με μέση ετήσια αύξηση 1,1% και 1,0% αντίστοιχα.

Ειδικότερα για το σύνολο των μεταφορών, 84,7% των εκπομπών προέρχονται από τον τομέα των οδικών μεταφορών, 8,9% από εγχώριες θαλάσσιες μεταφορές, 5,7% από

αεροπορικές μεταφορές, 0.6% από τις σιδηροδρομικές μεταφορές και 0.03% από υπόλοιπες μεταφορές. Σημειώνεται πως το 98.42% των αερίων του θερμοκηπίου από το σύστημα των μεταφορών αποτελείται από CO<sub>2</sub>, 0.43% από CH<sub>4</sub> και 1,15% από N<sub>2</sub>O [EEA- website 2013].

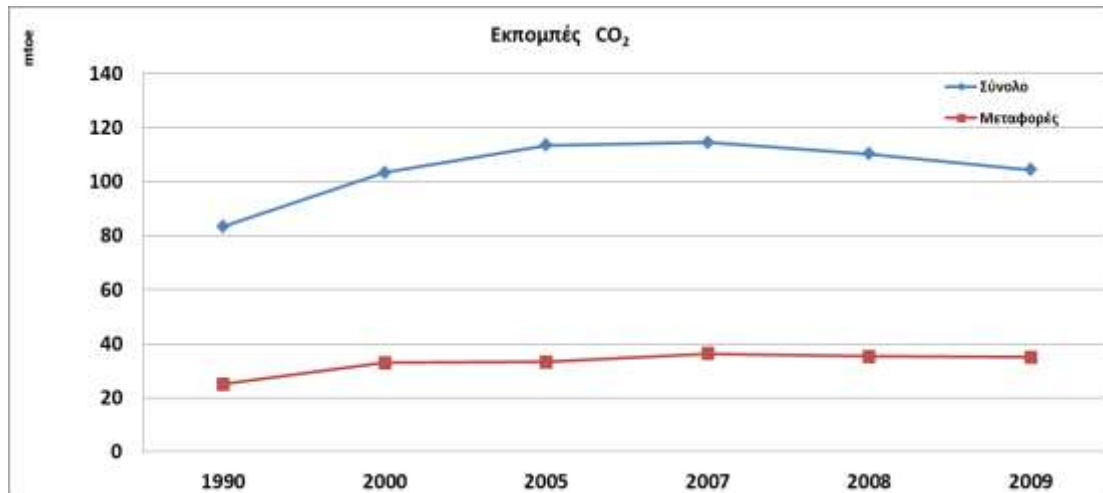
Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις οδικές μεταφορές είχαν πτωτική τάση το 2010 – σε σχέση με τα επίπεδα του 2009. Σε μικρότερο ποσοστό αποδίδεται η παρατηρούμενη μείωση στην αυξημένη χρήση βιοκαυσίμων το 2010. Η σημαντική αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της περιόδου 1990 -2007 στην Ελλάδα (Διάγραμμα 6.7.2.α) ήταν άμεσα συνδεδεμένη με την αύξηση του επιβατικού στόλου και της αυξημένης ζήτησης των μεταφορών. Οι εκπομπές από τη διεθνή αεροπορία και τις θαλάσσιες μεταφορές σημείωσαν πτώση. Η μείωση στις εκπομπές από τις διεθνείς μεταφορές ήταν πολύ ισχυρότερη, αντικατοπτρίζοντας την σφοδρότητα της οικονομικής κρίσης και των μειωμένων εμπορευματικών μεταφορών. Οι εκπομπές από τις διεθνείς αεροπορικές και θαλάσσιες μεταφορές δεν λαμβάνονται υπόψη στη δέσμευση της Ελλάδας για την επίτευξη των στόχων του Κιότο.



Διάγραμμα 6.7.2.α Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον τομέα των μεταφορών (χωρίς τις διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές) για τη περίοδο 1990 -2010

Σε ότι αφορά τις εκπομπές CO<sub>2</sub> από τον τομέα των μεταφορών, σημειώνεται πως αποτελούν τη δεύτερη μεγαλύτερη πηγή αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα. Το 2001 το ποσοστό CO<sub>2</sub> από τον τομέα των μεταφορών ανήλθε στο 23%. Στις αρχές της δεκαετίας του 2000 η Ελλάδα βρισκόταν ανάμεσα στις χώρες (Ιρλανδία, Πορτογαλία και Ολλανδία) με την μεγαλύτερη αύξηση εκπομπών. Το Διάγραμμα 6.7.2.β παρουσιάζει τις τάσεις στις εκπομπές CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα για την περίοδο 1990 – 2010. Η οικονομική ύφεση είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση το 2010 κατά 1,8% των εκπομπών CO<sub>2</sub> στην Ελλάδα σε σχέση με το 2009, ενώ

αντίθετα στο σύνολο των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι εκπομπές αυξήθηκαν κατά 2,4%. Σύμφωνα με τις πρώτες εκτιμήσεις του ΕΕΑ, οι εκπομπές μειώθηκαν στην Ελλάδα, το 2010, κατά 2,2 μεγατόνους ισοδυνάμου διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με το 2009, με αποτέλεσμα η χώρα να κατατάσσεται στην όγδοη θέση μεταξύ των δεκαπέντε της ΕΕ που έχουν κοινή δέσμευση έναντι του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Στην Ευρώπη των 27 κατατάσσεται ενδέκατη. Σημειώνεται, επιπλέον, ότι στα τέλη του 2010, η Ελλάδα ήταν σε σταθερή τροχιά επίτευξης των στόχων του Πρωτοκόλλου του Κιότο.



Διάγραμμα 6.7.2.β Εκπομπές CO<sub>2</sub> σε όλους τους ενεργειακούς τομείς και στον τομέα των μεταφορών [Eurostat database, 2013]

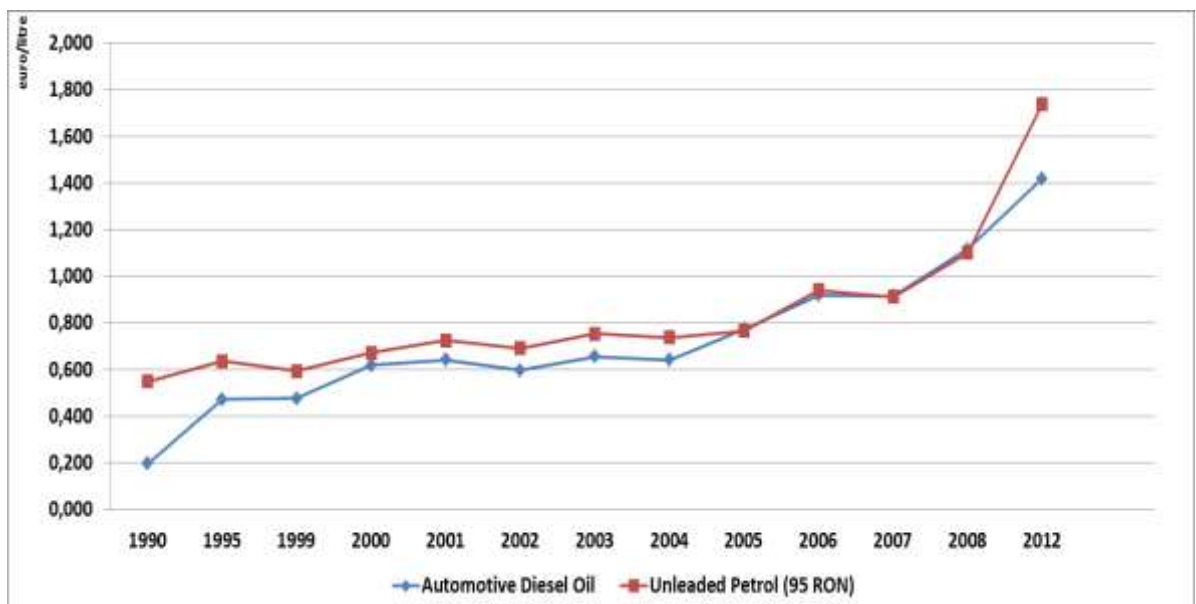
Το 2011, οι μέσες εκπομπές CO<sub>2</sub> για τα νέα επιβατηγά οχήματα των χωρών-μελών της Ε.Ε ήταν 135,7 γραμμάρια CO<sub>2</sub> ανά χιλιόμετρο (4,6 g CO<sub>2</sub>/km λιγότερο από το 2010). Το παραπάνω αποδίδεται στις αλλαγές στην αγοραστική συμπεριφορά, στη βελτίωση της τεχνολογίας και της απόδοσης των κινητήρων των αυτοκινήτων καθώς και στην επίδραση της οικονομικής κρίσης και της ύφεσης, που οδηγεί τους υποψήφιους αγοραστές σε επιλογές μικρότερων οχημάτων, αλλά και I.X. με πιο αποδοτικές μηχανές, προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση των ακριβών καυσίμων [EEA, 2011]. Σημειώνεται ότι έχει τεθεί ο στόχος για 130 γραμμάρια CO<sub>2</sub> ανά χιλιόμετρο, μέχρι το 2015. Η μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> αποδίδεται επίσης και στην αύξηση του μεριδίου των αυτοκινήτων ντίζελ. Το 2011 το 55,2% των οχημάτων που ταξινομήθηκαν στην Ευρώπη ήταν πετρελαιοκίνητα οχήματα, έναντι 51,3% το 2010. Πάντως, το χάσμα μεταξύ των μέσων εκπομπών CO<sub>2</sub> στα νέα πετρελαιοκίνητα και τα νέα βενζινοκίνητα οχήματα έχει μειωθεί τα τελευταία χρόνια φτάνοντας τα 3,2 g CO<sub>2</sub>/km.

Επιπρόσθετα η μείωση των εκπομπών αποδίδεται και στην αύξηση των τιμών των καυσίμων στην Ελλάδα με την επιβολή του φόρου ειδικής κατανάλωσης στην βενζίνη, η οποία οδήγησε στη μείωση της κατανάλωσης και εμμέσως και των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Από το 2009 η μείωση στην κατανάλωση βενζίνης αγγίζει το 30% , (κατανάλωση ίδια με τα επίπεδα



του 1999-2000), δηλαδή κάτω από 3 εκατ. μετρικούς τόνους, παρ' ότι ο αριθμός των οχημάτων που «κυκλοφορούν» στους δρόμους έχει αυξηθεί το ίδιο διάστημα πάνω από 60% και ξεπερνά πλέον τα 7,9 εκατομμύρια οχήματα, εκ των οποίων 3,1 εκατ. είναι επιβατικά. Το 2000 κυκλοφορούσαν περίπου 4,9 εκατ. οχήματα (3,1 εκατ. επιβατικά) και η κατανάλωση ήταν μεγαλύτερη από ότι σήμερα, δηλαδή περίπου 3,3 εκατ. μετρικούς τόνους. Σημειώνεται πως το 2012 έκλεισαν περίπου 800-1.000 πρατήρια καυσίμων καθώς η κατανάλωση υποχώρησε κατά τουλάχιστον 17%, ενώ οι μέσες πωλήσεις ανά πρατήριο περιορίστηκαν από τους 3.800 τόνους το 2011 στους 3.400 τόνους το 2012 και το μικτό περιθώριο κέρδους σε λιγότερο από 5 λεπτά ανά λίτρο για τις εταιρείες εμπορίας και τους βενζινοπώλες.

Γίνεται αντιληπτό πως το κόστος των καυσίμων αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα διαμόρφωσης της ζήτησης. Οι τιμές του diesel και της βενζίνης παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές (**Διάγραμμα 6.7.2**). Εκτιμάται ότι μια αύξηση της τάξης του 10% στις τιμές των καυσίμων μπορεί να οδηγήσει σε μια πτώση της ζήτησης της του 4-10% στη ζήτηση των υγρών καυσίμων [Hagler, 1999; Johansson and Schipper, 1997] οδηγώντας σε μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 4-10%.



**Διάγραμμα 6.7.2.γ.** Τιμές diesel και αμόλυβδης βενζίνης (95RON) για την Ελλάδα για τη περίοδο 1990-2012. Οι τιμές περιλαμβάνουν φόρους και είναι εκφράζονται σε euro/liter [Eurostat.]

## 6.8. Στατιστική Ανάλυση

Η **συσχέτιση (correlation)** ή και αλληλεξάρτηση σε πολλές περιπτώσεις – χρονικά άμεση ή έμμεση - μεταξύ των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών παραμέτρων διερευνάται με τη στατιστική ανάλυση δεδομένων [Ζαχαροπούλου, 1994; Πανάρετος, 1994,

2000]. Η συσχέτιση είναι μία στατιστική τεχνική, η οποία επιτρέπει τη παρατήρηση δύο μεταβλητών στο "φυσικό τους περιβάλλον" (μη-ελεγχόμενο περιβάλλον), τον προσδιορισμό τους και την ακριβή σχέση που τις συνδέει. Προσδιορίζοντας τη σχέση των μεταβλητών, προσδιορίζεται ένα μοντέλο. Ο προσδιορισμός ενός μοντέλου για την ερμηνεία της συμπεριφορά της μεταβλητής  $Y$  (εξαρτημένη) με βάση τη συμπεριφορά των μεταβλητών  $X_1, \dots, X_k$  (ανεξάρτητες ή ερμηνευτικές) γίνεται με ανάλυση στατιστικών δεδομένων, δηλαδή παρατηρήσεων της εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  σε επιλεγμένα επίπεδά της ή των ερμηνευτικών μεταβλητών. Οι στατιστικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό αναφέρονται ως **ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis)** [Ζαχαροπούλου, 1994; Πανάρετος, 1994, 2000].

Η γραμμική παλινδρόμηση (linear regression) μιας εξαρτημένης μεταβλητής  $Y$  από την εξαρτημένη μεταβλητή  $X$  δίνεται από τη σχέση:

$$Y = \alpha + \beta \cdot X \quad (6.8.a)$$

όπου  $\alpha$  και  $\beta$  είναι παράμετροι. Ο προσδιορισμός των  $\alpha$  και  $\beta$  δίνει μια προσεγγιστική ευθεία, που συνδέει τις τιμές της  $Y$  δοθέντων των τιμών της  $X$ . Η ευθεία που προκύπτει λέγεται ευθεία παλινδρόμησης της  $Y$  πάνω στην  $X$  και μπορεί να κατασκευασθεί εμπειρικά ή μέσω μαθηματικών μεθόδων, όπως είναι η **μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων**. Σκοπός είναι το άθροισμα των τετραγώνων των κατακόρυφων αποστάσεων των σημείων  $(X, Y)$  από την ευθεία να είναι ελάχιστο. Στην εξίσωση 5.8.a πρέπει να προστεθεί ένας ακόμη όρος ( $\epsilon$ ), ο οποίος, για δεδομένη τιμή της  $X$ , να περιγράφει τη διαφορά της παρατηρούμενης από τη θεωρητική ( $\alpha + \beta \cdot X$ ) τιμή της  $Y$ . Δηλαδή,  $\epsilon = Y - (\alpha + \beta \cdot X)$ . Προκύπτει, επομένως, το στοχαστικό μοντέλο:

$$Y = \alpha + \beta \cdot X + \epsilon \quad (6.8.b)$$

Για λόγους απλούστευσης των υπολογισμών γίνονται κάποιες υποθέσεις, όπως  $E(\epsilon) = 0$  και  $E(Y / X) = \alpha + \beta X$ . Δηλαδή, υποθέτεται ότι τα σφάλματα έχουν μέση τιμή μηδέν και ότι για τις διάφορες τιμές της  $X$ , οι αντίστοιχες μέσες τιμές της  $Y$  βρίσκονται πάνω σε μια ευθεία. Η ευθεία αυτή ( $E(Y / X) = \alpha + \beta \cdot X$ ), ονομάζεται **πληθυσμιακή ευθεία παλινδρόμησης**.

Με την **μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (method of least squares)** προσδιορίζονται οι **συντελεστές  $\alpha$  και  $\beta$**  από τους τύπους:

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (6.8.g)$$

$$\text{και} \quad \hat{\alpha} = \bar{y} - \hat{\beta} \cdot \bar{x} \quad (6.8.δ)$$

η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων δίνεται από τη σχέση:

$$\hat{y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta} \cdot x \quad (6.8.ε)$$

Το  $\hat{\alpha}$  είναι η τεταγμένη του σημείου στο οποίο η ευθεία τέμνει τον άξονα  $y'y$  ενώ το  $\hat{\beta}$ , που είναι ο συντελεστής διεύθυνσης της ευθείας, εκφράζει την μεταβολή της μεταβλητής  $Y$  όταν η μεταβλητή  $X$  μεταβληθεί κατά μια μονάδα. Ο υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης απαιτεί τη μέτρηση δύο μεταβλητών για κάθε υποκείμενο (τα οποία συνήθως συμβολίζονται με  $X, Y$ ), σε ένα μη-ελεγχόμενο περιβάλλον. Ο στόχος της τεχνικής είναι να προσδιορίσει τη σχέση που συνδέει τις δύο μεταβλητές, υπολογίζοντας την τιμή του συντελεστή συσχέτισης. Αναλυτικότερα αν  $X$  και  $Y$  δύο μεταβλητές μεγέθους  $n$  τότε ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (**linear correlation coefficient**) είναι ο εξής:

$$r(X, Y) = r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6.8.στ)$$

Εάν οι μέσες τιμές δεν είναι ακέραιοι αριθμοί, τότε ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης  $r$  δίνεται από τον τύπο:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) \cdot (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \cdot \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad (6.8.ζ)$$

Ιδιότητες του  $r$ :

- Εάν  $0 < r < 1$  τότε οι  $X$  και  $Y$  είναι **θετικά γραμμικά συσχετισμένες**.
- Εάν  $-1 < r < 0$  τότε οι  $X$  και  $Y$  είναι **αρνητικά γραμμικά συσχετισμένες**.
- Εάν  $r = 1$  τότε έχουμε τέλεια θετική γραμμική συσχέτιση και όλα τα σημεία βρίσκονται πάνω στην ευθεία  $y = \alpha + \beta \cdot x$  και  $\beta > 0$ . αντίστοιχα αν  $r = -1$  και  $\beta < 0$ .
- Εάν  $r = 0$  τότε δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών  $X$  και  $Y$ .  
Οπότε λέμε ότι είναι **γραμμικά ασυσχέτιστες**.

Η εξέταση της σχέσης της εξαρτημένης μεταβλητής με την ανεξάρτητη δίνεται από την **ανάλυση διασποράς (analysis of variance) ANOVA**. Ο Πίνακας 6.8 συνοψίζει την ανάλυση διασποράς για το απλό γραμμικό μοντέλο.

Πηγή Μεταβλητότητας	Βαθμοί Ελευθερίας	Άθροισμα Τετραγώνων	Μέσο τετράγωνο	F-test
------------------------	----------------------	------------------------	-------------------	--------

Παλινδρόμηση	1	$SSR = \sum_{i=1}^v (\hat{y}_i - \bar{y})^2$	$MSR = \frac{SSR}{1}$	$F = \frac{MSR}{MSE}$
Υπόλοιπα	v - 2	$SSE = \sum_{i=1}^v (y_i - \hat{y}_i)^2$	$MSE = S^2 = \frac{SSE}{v-2}$	
Ολική	v - 1	$SST = \sum_{i=1}^v (y_i - \bar{y})^2$		

**Πίνακας 6.8. Ανάλυση διασποράς για απλό γραμμικό μοντέλο**

Σε κάθε άθροισμα τετραγώνων αντιστοιχούν ορισμένοι βαθμοί ελευθερίας, που ισοδυναμούν με το πλήθος των ανεξαρτήτων συναρτήσεων των  $y_i$ , οι οποίοι απαιτούνται για τον υπολογισμό του εν λόγω αθροίσματος. Οπότε το SST έχει  $v - 1$  βαθμούς ελευθερίας διότι:

$$\sum_{i=1}^v (y_i - \bar{y}) = 0 \tag{6.8.η}$$

Το SSR έχει έναν βαθμό ελευθερίας, διότι μπορεί να υπολογισθεί από μία συνάρτηση των  $y_i$  την  $\hat{\beta}$  δοθέντος ότι:

$$SSR = \sum_{i=1}^v (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \hat{\beta}^2 \cdot \sum_{i=1}^v (x_i - \bar{x})^2 \tag{6.8.θ}$$

Ενώ το SSE έχει  $v - 2$  βαθμούς ελευθερίας διότι:

$$\sum_{i=1}^v (y_i - \hat{y}_i) = 0 \text{ και } \sum_{i=1}^v x_i \cdot (y_i - \hat{y}_i) = 0 \tag{6.8.ι}$$

Οι στατιστικές συναρτήσεις SSR και SSE είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους και τα μέσα τετράγωνα ακολουθούν την  $X^2$  κατανομή με βαθμούς ελευθερίας τους αντίστοιχους των αθροισμάτων τετραγώνων. Ο στατιστικός έλεγχος  $f$  ελέγχει την ισχύ της υπόθεσης, ότι τα δεδομένα μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά από το γραμμικό μοντέλο. Όταν η συνάρτηση  $F$  ακολουθεί την  $F_{1,v-2}$  κατανομή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να ελεγχθεί η σημαντικότητα της παλινδρόμησης, δηλαδή της υπόθεσης  $H_0 : \beta=0$  έναντι της  $H_a : \beta \neq 0$ . Τέλος η αξία του απλού γραμμικού μοντέλου, το οποίο προσαρμόζεται στα δεδομένα ελέγχεται από τον **συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$** , ο οποίος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \rightarrow 0 \leq R^2 \leq 1 \tag{6.8.ια}$$

Ο συντελεστής προσδιορισμού εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής  $Y$  που εξηγείται από την μεταβλητή  $X$ . Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του  $R^2$  στην μονάδα, τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών  $Y$  και  $X$ .

### 6.8.1. Πολλαπλό Γραμμικό Μοντέλο Παλινδρόμησης

Το πολλαπλό γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης (**multiple linear regression**) χρησιμοποιείται για να μελετήσει τη σχέση μεταξύ μιας εξαρτώμενης μεταβλητής και διάφορων ανεξάρτητων μεταβλητών. Το γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$y_i = f(x_{i1}, \dots, x_{iK}) + \varepsilon_i = \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_K x_{iK} + \varepsilon_i, i = 1, \dots, n, \quad [6.8.1.a]$$

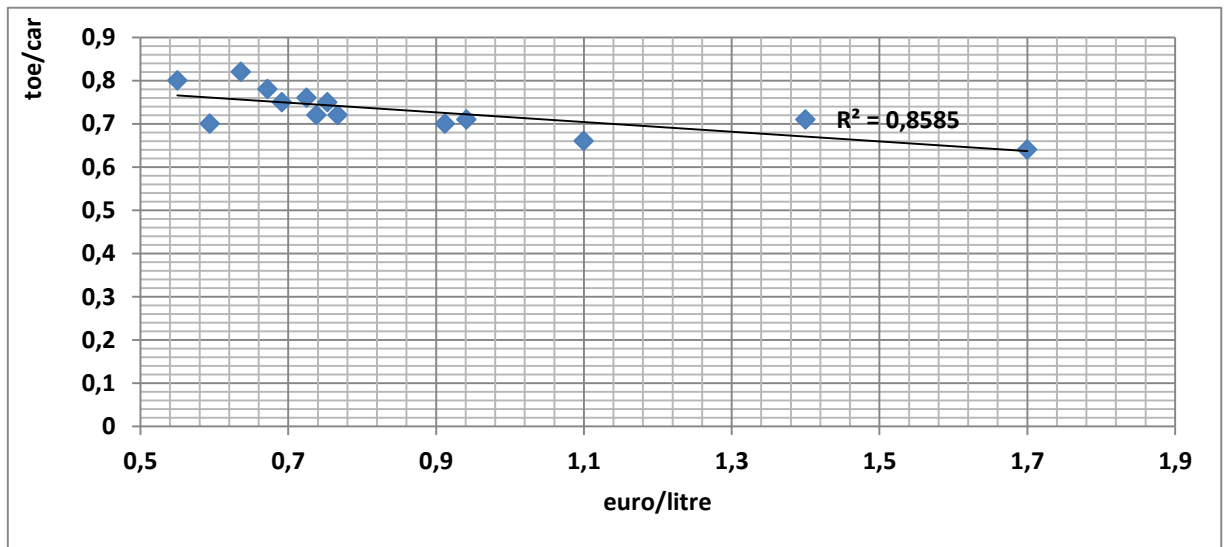
όπου  $y$  είναι η εξαρτώμενη ή αποκριτική μεταβλητή, οι  $x_1, \dots, x_k$  είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές και οι δείκτες  $i$  είναι οι  $n$  παρατηρήσεις του δείγματος. Η εξίσωση (5.8.1.α) καλείται συνήθως πληθυσμιακή εξίσωση παλινδρόμησης του  $y$  πάνω στα  $x_1, \dots, x_k$ . Το  $y$  είναι αυτό που παλινδρομείται και τα  $x_k, k = 1, \dots, K$  είναι οι συμμεταβλητές. Ο όρος  $\varepsilon$  είναι η τυχαία διαταραχή, η οποία ονομάζεται έτσι επειδή “διαταράσσει” μια ειδήλλως σταθερή σχέση. Η τιμή του  $\varepsilon$  εξαρτάται από την υποκείμενη κατανομή πιθανότητας. Η διαταραχή ή αλλιώς σφάλμα προκύπτει για διάφορους λόγους. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που συμβάλλουν στη διαταραχή σε ένα μοντέλο θεμελιωμένο πάνω στο πείραμα και την απόδειξη. Πιθανώς ο σημαντικότερος από αυτούς τους παράγοντες είναι τα σφάλματα στη μέτρηση. Είναι εύκολο να θεωρητικολογήσει κανείς για τις σχέσεις μεταξύ των ακριβώς καθορισμένων μεταβλητών και είναι διαφορετικό να πάρει τις ακριβείς τιμές αυτών των μεταβλητών.

## 6.9. Στατιστικό Μοντέλο Ελληνικού Συστήματος Οδικών Μεταφορών

Η κατανάλωση ενέργειας στις οδικές μεταφορές ανά αυτοκίνητο κατά τη περίοδο 1990 – 2008 σημείωσε αύξηση, σημειώνοντας πτώση μετά το 2008. Η παραπάνω τάση αποδίδεται σε ένα πλήθος παραγόντων όπως η αύξηση χρήσης αυτοκινήτων, η σταθεροποίηση της αποδοτικότητας των καυσίμων των νέων αυτοκινήτων, η επιδείνωση των συνθηκών κυκλοφορίας καθώς και το σύγχρονο οικονομικό περιβάλλον.

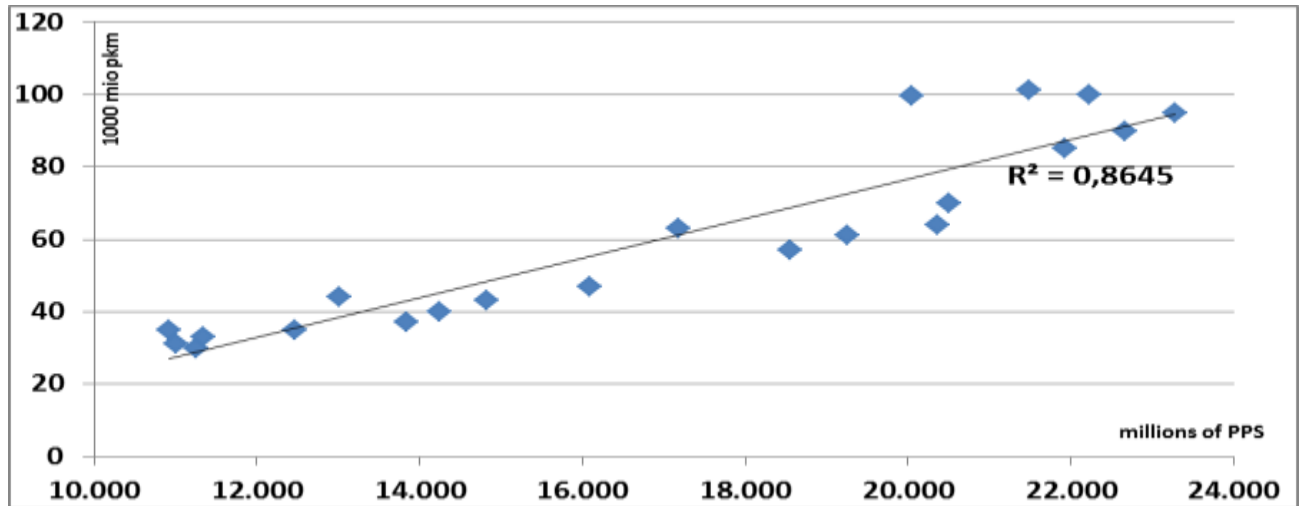
Η ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης που παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 6.9.α** διερευνά την σχέση μεταξύ κατανάλωσης στις οδικές μεταφορές ανά ισοδύναμο αυτοκίνητο και των τιμών των καυσίμων. Γίνεται αντιληπτό πως όσο αυξάνονται οι τιμές των καυσίμων, η κατανάλωση ενέργειας στις οδικές μεταφορές ανά ισοδύναμο αυτοκίνητο ελαττώνεται. Η δομή του επιβατικού στόλου δεν λαμβάνεται υπόψη καθώς αυτός εκφράζεται σε ισοδύναμα αυτοκίνητα. Παρόλα αυτά τυχόν παρατηρούμενες διαφορές μπορούν να αποδοθούν επίσης σε

παράγοντες όχι άμεσα συνδεδεμένους με τις τιμές των καυσίμων, όπως για παράδειγμα οι διαφορές στον τρόπο χρήσης των οχημάτων ( συμπεριφορά οδηγών κλπ).

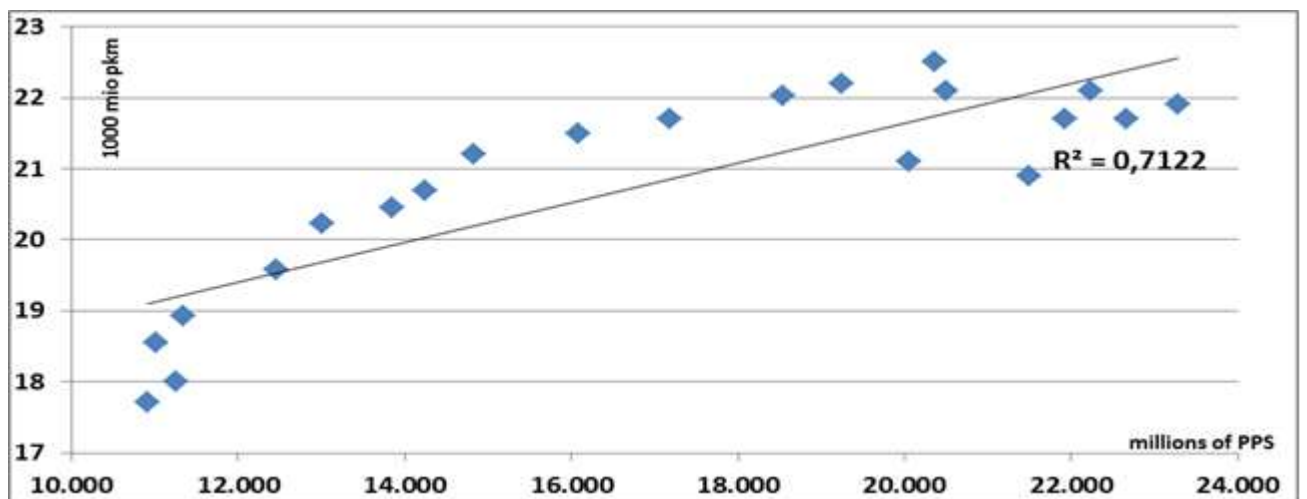


**Διάγραμμα 6.9.α.** Γράφημα γραμμικής παλινδρόμησης, το οποίο συσχετίζει την κατανάλωση ενέργειας στις οδικές μεταφορές ανά ισοδύναμο αυτοκίνητο, και τις μέσες ετήσιες τιμές βενζίνης (Unleaded 95 RON) για την περίοδο 1990-2010. (Pearson's correlation:  $r = -0.731$ )

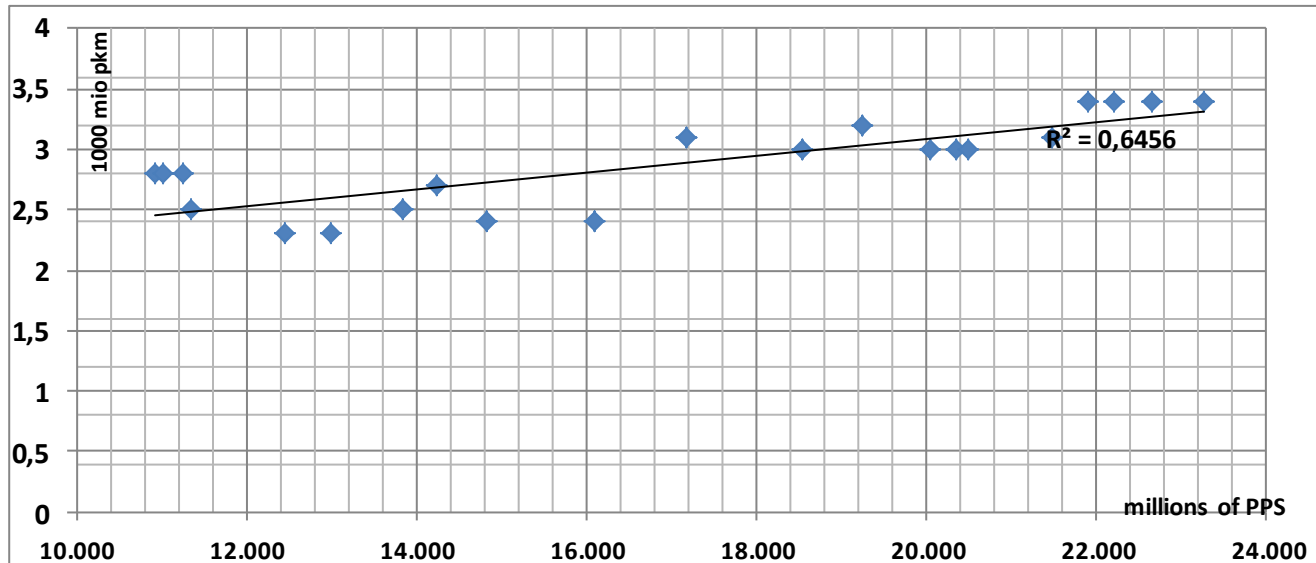
Η επίδοση όλων των μεταφορικών μέσων καθορίζεται από το εισόδημα, το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με την αύξηση του ΑΕΠ. Δεδομένου ότι η ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης παρουσίασε υψηλούς συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα στο ΑΕΠ και στις επιδόσεις των επιβατηγών οχημάτων, λεωφορείων καθώς και των σιδηροδρόμων, τραμ και μετρό (**Διαγράμματα 6.9.β-δ**) γίνεται αντιληπτό πως όσο το ΑΕΠ αυξάνεται, τόσο οι επιδόσεις σε όλα τα οδικά μεταφορικά μέσα αυξάνονται. Οι αυξημένες επιδόσεις στα οδικά μεταφορικά συνδέονται άμεσα με την κατανάλωση καυσίμων, η οποία με τη σειρά της συνδέεται με την εκπομπή αέριων ρύπων.



Διάγραμμα 6.9.β. Γράφημα γραμμικής παλινδρόμησης, το οποίο συσχετίζει το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π (εκφρασμένο σε εκατομμύρια PPS) και την επίδοση επιβατηγών αυτοκινήτων (εκφρασμένη σε επιβάτες-χλμ) για την Ελλάδα για την περίοδο 1990-2010 (Pearson's correlation:  $r = 0.9298$ ).



Διάγραμμα 6.9.γ. Γράφημα γραμμικής παλινδρόμησης, το οποίο συσχετίζει το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π (εκφρασμένο σε εκατομμύρια PPS) και την επίδοση των λεωφορείων – φορτηγών (εκφρασμένη σε επιβάτες-χλμ) για την Ελλάδα για την περίοδο 1990-2010 (Pearson's correlation:  $r = 0.8439$ ).



Διάγραμμα 6.9.δ. Γράφημα διασποράς γραμμικής παλινδρόμησης, το οποίο συσχετίζει το κατά κεφαλήν Α.Ε.Π (εκφρασμένο σε εκατομμύρια PPS) και την επίδοση των τραμ-μετρο- (εκφρασμένη σε επιβάτες-χλμ) για την Ελλάδα για την περίοδο 1990-2010 (Pearson's correlation:  $r = 0.8439$ ).

Οι παράγοντες, οι οποίοι διαμορφώνουν τις τάσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τον τομέα των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα και είναι επεξηγηματικοί της πτωτικής τάσης αυτών το 2010 διερευνώνται παρακάτω. Η αύξηση του πληθυσμού και του Α.Ε.Π σχετίζονται με υψηλές συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub>. Ο πληθυσμός στην Ελλάδα αυξήθηκε το 2010 κατά 0.3 % σε σχέση με το 2009, ενώ το κατά κεφαλήν ΑΕΠ ελαττώθηκε κατά 4.1% το 2010 σε σχέση με το 2009. Η ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης δείχνει πως η οικονομική ανάπτυξη έως το 2007 και η οικονομική ύφεση από το 2008 και μετά, η πτώση στη τελική κατανάλωση ενέργειας στις οδικές μεταφορές, η μείωση του αριθμού κυκλοφορούντων οχημάτων αποτέλεσαν σε συνδυασμό με την αύξηση χρήσης εναλλακτικών καυσίμων στις οδικές μεταφορές, τα κύρια (στατιστικά) στοιχεία τα οποία διαμόρφωσαν τις τιμές των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα για την περίοδο 1990 -2010. Οι μεταβλητές, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του μοντέλου αφορούν την περίοδο 1990 -2010 και παρουσιάζονται στον **Πίνακα 6.9**.



$$(y) \text{ GHG} = (x1)\text{POP} + (x2)\text{GDP} + (x3) \text{CONS} + (x4)\text{DEM} + (x5)\text{REN} + \mu, \text{ όπου:}$$

(y) **GHG**: % ετήσια μεταβολή στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από τον τομέα των οδικών μεταφορών εκφρασμένη σε 1000 tonnes of CO<sub>2</sub> equiv.

(x1) **POP**: % ποσοστό ετήσιας μεταβολής στον πληθυσμό εκφρασμένο σε εκατ.κατοίκους

(x2) **GDP**: % ποσοστό ετήσιας μεταβολής στο ΑΕΠ, εκφρασμένο σε PPS thousands

(x3) **CONS**: % ποσοστό ετήσιας μεταβολής στην ειδική κατανάλωση ενέργειας στα οχήματα, εκφρασμένη σε l/100km

(x4) **DEM**: % ποσοστό μεταβολής επιβατικής ζήτησης, εκφρασμένη σε επιβάτες- km

(x5) **REN**: % ποσοστό μεταβολής της συμμετοχής εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των οδικών μεταφορών

$\mu$ : τυπικό σφάλμα

#### Πίνακας 6.9.α. Μεταβλητές για τη δημιουργία στατιστικού μοντέλου για τις οδικές μεταφορές

Ο Πίνακας 6.9.β. συνοψίζει τα στοιχεία του στατιστικού μοντέλου. Η τιμή  $F$  του μοντέλου (έλεγχος ετεροσκεδαστικότητας), είναι σημαντική (0,373). Οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών GDP, POP, DEM παρουσιάζουν θετικό - υψηλό συντελεστή συσχέτισης με την εξαρτημένη μεταβλητή GHG. Ο υψηλός συντελεστής συσχέτισης υποδηλώνει ότι οι τιμές των μεταβλητών μεταβάλλονται ταυτόχρονα στο χρόνο (όσο ο συντελεστής προσεγγίζει τη μονάδα τόσο η συσχέτιση είναι μεγαλύτερη). Το παραπάνω είναι αναμενόμενο καθώς όσο αυξάνεται ο πληθυσμός και το ΑΕΠ αυξάνεται, η ζήτηση για μεταφορικό έργο, οπότε τόσο μεγαλύτερα είναι τα ποσοστά των αερίων του θερμοκηπίου που ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Σε ότι αφορά τη συσχέτιση της εξαρτημένης μεταβλητής GHG και CONS παρατηρείται αρνητική συσχέτιση, γεγονός το οποίο υποδηλώνει πως όσο βελτιώνεται η απόδοση των κινητήρων των οχημάτων, μειώνεται η κατανάλωση ανά χιλιόμετρο, οπότε και εκλύονται λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Επίσης αρνητική συσχέτιση παρουσιάζει η μεταβλητή REN, η οποία αντικατοπτρίζει το ποσοστό μεταβολής στη χρήση εναλλακτικών καυσίμων, στον τομέα των οδικών μεταφορών. Γίνεται αντιληπτό πως όσο αυξάνεται ο βαθμός διείσδυσης εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των οδικών μεταφορών μειώνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

	GDP	CONS	POP	REN	DEM
<b>Pearson's correlation</b>	0,952	-0,954	0,959	-0,717	0,924
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9071	0,9111	0,9204	0,514	0,8539
<b>P value</b>	0,412	0,458	0,716	0,438	0,355

**Πίνακας 6.9.β. Στατιστικά στοιχεία του μοντέλου για το Ελληνικό Σύστημα Οδικών Μεταφορών (df=19)**

Με βάση τα παραπάνω η μεταβολή στις τιμές των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για τον τομέα των οδικών μεταφορών για τη διάρκεια της περιόδου 1990 -2010 μπορεί να γραφεί ως συνάρτηση τόσο των μεμονωμένων αλλά και των συνδυασμένων επιδράσεων της οικονομίας, του πληθυσμού, της κατανάλωσης ενέργειας καθώς και της περιβαλλοντικής πολιτικής στις οδικές μεταφορές (εξίσωση 6.9).

$$(y) \text{ GHG} = (1,16) \text{ POP} + (0,25) \text{ GDP} + (-0,45) \text{ CONS} + (1,56) \text{ DEM} + (-0,10) \text{ REN} + 0,05 \quad (6.9)$$

## 6.10. Συμπεράσματα

Η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης έχει αποτελέσει στο παρελθόν σημαντικό παράγοντα στη χάραξη περιβαλλοντικής πολιτικής καθώς υποδεικνύει τον ιδανικό τρόπο με τον οποίο οι επιχειρήσεις και η κοινωνία μπορούν να αλληλεπιδρούν και να λειτουργούν με σεβασμό στην οικονομία, κοινωνία και το περιβάλλον. Ένας κοινά αποδεκτός ορισμός της έννοιας της βιώσιμης ανάπτυξης, είναι ο ακόλουθος: « *ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες της παρούσας γενιάς χωρίς να υπονομεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις ανάγκες τους*» [WCED, 1987].

Τα βασικά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη, τα οποία είναι δύσκολο να αντισταθμίσουν τα υψηλά κοινωνικά και περιβαλλοντικά κόστη, καθιστούν τον τομέα των μεταφορών κρίσιμο για τη διασφάλιση της βιώσιμης ανάπτυξης μέσα στον αστικό ιστό. Η αποδοτική χρήση των διαθέσιμων πόρων παίζει σημαντικό ρόλο στην περιβαλλοντική και οικονομική βιωσιμότητα του αστικού ιστού.

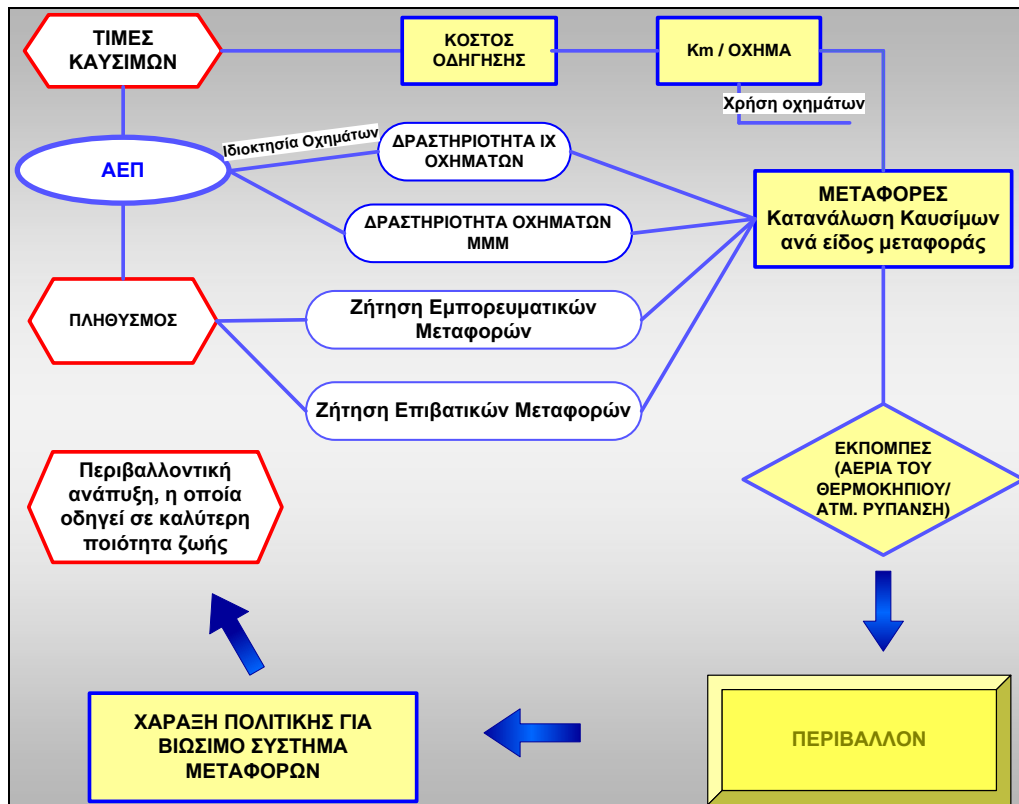
Η συγκριτική ανάλυση των τάσεων του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών όπως παρουσιάστηκε, δείχνει πως οι οδικές μεταφορές αποτελούν τον τομέα με τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Ακολουθεί ο τομέας των αεροπορικών μεταφορών ενώ οι σιδηροδρομικές και θαλάσσιες μεταφορές φαίνεται να καταλαμβάνουν μικρότερο μερίδιο. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1990-2000 παρατηρήθηκε αύξηση στον αριθμό των

οχημάτων, στη διάρκεια των ταξιδιών, στον όγκο της κίνησης καθώς και στο κατά κεφαλήν ΑΕΠ. Η αύξηση των παραπάνω παραγόντων είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου.

Το **Διάγραμμα 6.10** παρουσιάζει το μοντέλο του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών για τις οδικές μεταφορές. Η αύξηση του ΑΕΠ μέχρι και το 2007 οδήγησε σε μια αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης στις μεταφορές, αντικατοπτρίζοντας αυξήσεις στην κίνηση και οδηγώντας σε αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου. Επιπρόσθετα, οι διακυμάνσεις των τιμών των καυσίμων επηρεάζουν όχι μόνο το κόστος οδήγησης, το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με την κατανάλωση, αλλά και όλους τους τομείς της οικονομίας. Είναι φανερό πως καθώς η επιβατική-εμπορευματική ζήτηση αυξάνεται και η κατανάλωση ενέργειας.

Το επίπεδο ιδιοκτησίας αυτοκινήτων είναι άμεσα συνδεδεμένο με την χρήση αυτών καθώς και με τον όγκο της κίνησης και με την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Το μέγεθος του στόλου των ΙΧ. οχημάτων διαμορφώνει την επιβατική ζήτηση ενώ η ηλικία του στόλου είναι ενδεικτική του ρυθμού διεξόδου νέων τεχνολογιών στο Σύστημα Οδικών Μεταφορών. Το ΑΕΠ αποτελεί έναν δείκτη όχι μόνο οικονομικής ευρωστίας αλλά και κοινωνικής ανάπτυξης. Έτσι μέχρι το 2007 παρατηρήθηκε στην Ελλάδα αύξηση του ΑΕΠ, η οποία οδήγησε σε υψηλότερα ποσοστά ιδιοκτησίας οχημάτων, το οποίο είχε ως αποτέλεσμα την αυξημένη χρήση αυτών. Η αύξηση της μεταφορικής δραστηριότητας είναι άμεσα συνδεδεμένη με την αύξηση του ΑΕΠ καθώς το επίπεδο εισοδήματος αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επιλογή του μέσου μετακίνησης. Μετά το 2007 και μέχρι το 2010 παρατηρείται σημαντική πτώση στο επίπεδο ιδιοκτησίας οχημάτων, η οποία συνδέεται τόσο με τη μείωση του ΑΕΠ όσο και με την επιβολή υψηλών φόρων.

Η αύξηση του πληθυσμού σημαίνει περισσότερα αυτοκίνητα και περισσότερες εμπορευματικές μεταφορές, οι οποίες με τη σειρά τους οδηγούν σε αυξημένες εκπομπές προδρόμων ουσιών όζοντος, οι οποίες με τη σειρά τους συμβάλλουν στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις του όζοντος στην ανθρώπινη υγεία και στο περιβάλλον, είναι πιθανό να αυξηθεί το ποσοστό των ανθρώπων που εκτίθενται στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι περιβαλλοντικές πιέσεις από τον τομέα των οδικών μεταφορών σε συνδυασμό με τις τάσεις και τις προβλέψεις για την ένταση αυτού του τομέα απαιτούν την υιοθέτηση και εφαρμογή μέτρων βιώσιμης στρατηγικής στον τομέα των μεταφορών.



Διάγραμμα 6.10. Μοντέλο, το οποίο απεικονίζει τις εισροές και εκροές του Ελληνικού Συστήματος Οδικών Μεταφορών

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο υπάρχει το Πρωτόκολλο του Κιότο [UNFCCC, 1997], το οποίο υπογράφηκε το 1997, η ΕΕ και τα μέλη κράτη είχαν δέσμευση να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 8% κάτω από τα επίπεδα του 1990 για την περίοδο 2008-2012. Επιπρόσθετα το 2008 τα κράτη μέλη της ΕΕ δεσμεύθηκαν να μειώσουν έως το 2020 τις εκπομπές αερίων κατά τουλάχιστον 20% κάτω από τα επίπεδα του 1990, μαζί με κάλυψη του 20% των ενεργειακών τους αναγκών από ανανεώσιμες πηγές και θέτοντας πορεία προς μια βελτίωση κατά 20% της ενεργειακής απόδοσης. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως η προώθηση προγραμμάτων αύξησης της ενεργειακής απόδοσης στον τομέα των οδικών μεταφορών είναι πολύ σημαντικά. Η προώθηση και διείσδυση καθαρότερων καυσίμων και εναλλακτικών-ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις οδικές μεταφορές όπως για παράδειγμα το φυσικό αέριο, τα βιοκαύσιμα ή και ο ηλεκτρισμός χρειάζεται να ληφθούν υπόψη στη χάραξη μιας βιώσιμης στρατηγικής για τις μεταφορές, με στόχο τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την διασφάλιση καλύτερης ποιότητας ζωής στον αστικό ιστό.

Η αύξηση της απόδοσης και της ελαστικότητας του Συστήματος Μεταφορών είναι απαραίτητα για ένα βιώσιμο μέλλον, ιδιαίτερα μέσα στο αστικό περιβάλλον. Ο δρόμος προς ένα βιώσιμότερο σύστημα μεταφορών απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση. Οι μεταφορές έχουν οικονομική βαρύτητα για την Ελληνική κοινωνία καθώς επιτρέπουν τη μετακίνηση των παραγωγικών παραγόντων (άνθρωποι και αγαθά). Επιπρόσθετα έχουν και κοινωνική καθώς

δίνουν τη δυνατότητα μεγιστοποίησης των δυνατοτήτων και συντήρησης του βιοτικού επιπέδου. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως βασικοί παράμετροι του Ελληνικού Συστήματος Μεταφορών είναι η κοινωνία, η οικονομία και το περιβάλλον, οπότε είναι σημαντικό τα συμφέροντα των τριών αυτών ομάδων να ενσωματωθούν ισοδύναμα στη χάραξη πολιτικής για ένα βιώσιμο σύστημα Μεταφορών.

## 6.11. Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 6

1. CEIP database : <http://www.ceip.at/webdab-emission-database/officially-reported-emission-data>
2. Centre for Renewable Energy Sources- CRES, (2012). Energy Efficiency Policies and Measures in Greece, Athens.
3. Eduijee GH. Dioxins in the environment. Chemistry in Britain, 1988, 24:1223-1226.
4. Energy Efficiency Indicators in Europe, ODYSEE Database (2013): [www.odysee-indicators.org](http://www.odysee-indicators.org)
5. European Commission -EC, (2000a). Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply, COM (2000) 769, Green Paper, Commission of the European Communities, Brussels, Belgium.
6. European Environmental Agency – EEA (2011). Greenhouse gas emissions in Europe: a retrospective trend analysis for the period 1990–2008. Report N 6/2011. Copenhagen.
7. European Environmental Agency –EEA (2005). The European Environment, State and Outlook, 2005, EEA, Copenhagen.
8. European Environmental Agency –EEA (2012). The contribution of transport to air quality - TERM 2012: Transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe, Copenhagen.
9. European Environmental Agency –EEA (2013). Greece air pollutant emissions country factsheet : <http://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollutant-emissions-country-factsheets/greece-air-pollutant-emissions-country-factsheet/view>
10. European Environmental Agency -EEA, Air Quality in Europe (2012), Report No 4/2012, Copenhagen.
11. European Environmental Agency **website-** EEA (2013): [http://www.eea.europa.eu/soer/countries/gr/soertopic\\_view?topic=climate%20change](http://www.eea.europa.eu/soer/countries/gr/soertopic_view?topic=climate%20change)
12. Eurostat database : [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main\\_tables](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables)
13. Eurostat, (2012). EU transport in figures. Statistical pocketbook. Brussels, Belgium.
14. Gastaldi, M., Pradayrol, J-P., Quinet, E., Rega, M. (1996). Valuation of Environmental Externalities: From Theory to Decision-Making. Transportation Planning and Technology 19, 207-219.
15. Hagler Bailly, (1999). Potential for fuel taxes to reduce greenhouse gas emissions in transportation, Fuel tax policies report, prepared for the Department of Public Works and Government Services, Science Directorate, Science, Informatics and Professional Services Sector, Canada.
16. Houghton JT, Meira Filho LG, Callander BA (2009) eds. Intergovernmental Panel on Climate Change- IPCC. *Climate Change: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge (<http://www.ipcc.ch>).

17. IPCC, 2001. Summary for policy makers, Climate Change, 2001- the scientific basis, IPCC third assessment report- Climate Change, WMO/UNEP/IPCC.
18. Johansson, O. and Schipper, L. (1997). Measuring the long-run fuel demand for cars, Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 31, No 3, p. 290.
19. Rienstra, S., Vleugel, J., Nijkamp, P. (1996). Options for Sustainable Passenger Transport: An Assessment of Policy Choices. Transportation Planning and Technology 19, 221-233.
20. Seinfeld J.H. and Pandis S.N. (1998), Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change. John Wiley & Sons
21. Stockholm Convention on POPs (1997). International action to protect health and the environment through measures which will reduce and/or eliminate emissions and discharges of persistent organic pollutants, including the development of an international legally binding instrument (<http://www.pops.int/documents/background/>)
22. U.S. Department of Transportation (2005). Draft Environmental Assessment, National Highway Traffic Safety Administration, Proposed Corporate Average Fuel Economy (CAFE) Standards.
23. World Commission on Environment and Development -WCED, (1987). Our Common Future, Oxford University Press, New York.
24. Zachariadis, T., (2005). Assessing policies towards sustainable transport in Europe: an integrated model. Energy Policy 33.
25. Ζαχαροπούλου, Χ. (1994). Παλινδρόμηση – Συσχέτιση: Θεωρία και Πράξη Θεσσαλονίκη.
26. Ζανής, Π. (2008). Σημειώσεις για την ρύπανση και χημεία της ατμόσφαιρας , Α.Π.Θ.
27. Πανάρετος, Ι. (1994). Γραμμικά Μοντέλα με Έμφαση στις Εφαρμογές, Αθήνα.
28. Πανάρετος, Ι. και Ξεκαλάκη, Ε. (2000). Εισαγωγή στη Στατιστική Σκέψη, Τόμος ΙΙ, Αθήνα.
29. ΥΠΕΚΑ, (2009). “5η Εθνική Έκθεση για το Επίπεδο Διεξόδου της Ανανεώσιμης Ενέργειας το Έτος 2010 (ΑΡΘΡΟ 3 ΟΔΗΓΙΑΣ 2001/77/ΕΚ)”.