



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ
ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Καρυπίδου Καλλιόπη

Επιβλέπων Καθηγητής: Παπαναστασίου Δημήτριος

Λάρισα, Ιούνιος 2025

Περίληψη

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) αποτελεί έναν σιωπηλό αλλά δυνητικά θανατηφόρο ατμοσφαιρικό ρύπο, που παράγεται κυρίως από την ατελή καύση υδρογονανθράκων. Η παρούσα εργασία εξετάζει σφαιρικά τις επιδράσεις του CO στην ανθρώπινη υγεία, δίνοντας έμφαση στις πηγές έκθεσης, τις φυσικοχημικές του ιδιότητες, τους μηχανισμούς τοξικότητας και τις ομάδες υψηλού κινδύνου. Στο επίκεντρο της μελέτης βρίσκεται το Κεφάλαιο 5, το οποίο αναλύει διεξοδικά τις πολλαπλές φυσιολογικές επιπτώσεις της δηλητηρίασης από CO: από τις επιδράσεις στο αναπνευστικό, καρδιαγγειακό και νευρικό σύστημα έως τις μακροχρόνιες νευρολογικές και γνωστικές δυσλειτουργίες.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην παθοφυσιολογική δράση του CO μέσω του σχηματισμού καρβοξυαιμοσφαιρίνης και της κυτταρικής υποξίας, καθώς και στις κλινικές εκδηλώσεις, που κυμαίνονται από ήπια συμπτώματα έως θανατηφόρες καταστάσεις. Η εργασία εξετάζει επίσης τις διαγνωστικές προσεγγίσεις, τις επιλογές θεραπείας (όπως η υπερβαρική οξυγονοθεραπεία) και τη σημασία της ταχείας αναγνώρισης των περιστατικών.

Τέλος, παρουσιάζονται στρατηγικές πρόληψης σε επίπεδο πολιτικής και κοινοτήτων, όπως η εγκατάσταση ανιχνευτών CO, η εκπαίδευση διασωστών και άλλων ανταποκριτών και η επιτήρηση σε περιόδους αυξημένου κινδύνου. Η μελέτη καταλήγει στην ανάγκη υιοθέτησης ολοκληρωμένων παρεμβάσεων δημόσιας υγείας, με στόχο τη μείωση των περιστατικών δηλητηρίασης και την προστασία των ευάλωτων πληθυσμών.

Λέξεις κλειδιά: Μονοξείδιο του άνθρακα, ανθρώπινη υγεία, μηχανισμός δράσης CO, επιδράσεις στην υγεία

Abstract

Carbon monoxide (CO) is an invisible yet potentially fatal atmospheric pollutant, primarily produced by the incomplete combustion of carbon-based fuels. This thesis provides a comprehensive overview of CO's impact on human health, focusing on its physicochemical properties, major sources of exposure, mechanisms of toxicity, and high-risk population groups. Special emphasis is placed on Chapter 5, which presents an in-depth analysis of the multi-system health effects of CO poisoning. These include impacts on the respiratory, cardiovascular, and nervous systems, as well as long-term neurological and cognitive impairments.

The study highlights the pathophysiological mechanism of CO toxicity through the formation of carboxyhemoglobin and the resulting cellular hypoxia, along with the broad range of clinical manifestations, from mild symptoms to life-threatening outcomes. Diagnostic approaches, emergency interventions, and treatment strategies—such as hyperbaric oxygen therapy—are discussed in detail, emphasizing the importance of timely identification and response.

In addition, the thesis explores system-level prevention strategies, including the use of CO detectors, responder training, and community-level surveillance during high-risk periods. Ultimately, it underscores the need for coordinated public health interventions to reduce morbidity and mortality associated with CO exposure, particularly among vulnerable populations.

Keywords: Carbon monoxide, human health, CO action mechanism, health effects

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	1
Κατάλογος Πινάκων	4
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	4
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
2 Βασικές Πληροφορίες για το Μονοξείδιο του Άνθρακα.....	10
2.1 Φυσικά και χημικά <i>χαρακτηριστικά</i> της ένωσης.....	10
2.2 Πηγές εκπομπών CO και καταστάσεις υψηλής επικινδυνότητας για συσκευές θέρμανσης.....	14
3 Επίπεδα συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα.....	18
4 Μηχανισμός δράσης του CO	25
4.1.1 Ομάδες υψηλού κινδύνου	27
4.1.2 CO και ηλικιωμένοι	28
4.1.3 CO και εγκυμοσύνη	30
4.1.4 CO και παιδιά	32
4.1.5 CO και καπνιστές.....	34
4.1.7 Μηχανισμός CO ως θεραπευτικός παράγοντας.....	36
5 Επιδράσεις CO στην υγεία.....	38
5.1.1 Επιδράσεις CO στο αναπνευστικό σύστημα.....	39
5.1.2 Επιδράσεις CO στο νευρικό σύστημα	43
5.1.3 Επιδράσεις CO στο καρδιαγγειακό σύστημα	45
5.1.4 Επιδράσεις στο ενδοκρινικό σύστημα	48
5.1.5 Επιδράσεις στο γαστρεντερικό σύστημα	48
6. Πρόληψη και θεραπεία	50
6.1 Προστασία από τις εξωτερικές και εσωτερικές εκπομπές CO	50
6.2 Αντίδραση σε περίπτωση έκθεσης σε μονοξείδιο του άνθρακα, είτε από εσωτερικούς είτε από εξωτερικούς παράγοντες	55
Συμπεράσματα	62
Βιβλιογραφία	64

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας /Διάγραμμα	Τίτλος	Σελίδα
Διάγραμμα 1	Εξέλιξη των εκπομπών βασικών ρύπων για την περίοδο 2005-2019.	16
Διάγραμμα 2	Συνολικές εκπομπές εννέα βασικών ατμοσφαιρικών ρύπων για το έτος 2019.	17
Πίνακας 1	Επιδράσεις της έκθεσης σε CO σε διάφορους πληθυσμούς και ομάδες κινδύνου.	26
Πίνακας 2	Επίδραση του CO στην αύξηση νοσηλειών από αναπνευστικά νοσήματα	40

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

Συντομογραφία	Επεξήγηση
CO	Μονοξείδιο του άνθρακα
ΠΟΥ	Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας
NO _x	Οξείδια του Αζώτου
SO ₂	Διοξείδιο του Θείου
EPA	Environmental Protection Agency (Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ)
WHO	World Health Organization

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι μια ουσία που αποτελεί μια από τις σημαντικότερες απειλές για την ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια στη σύγχρονη ζωή. Ως άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο, το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) μπορεί εύκολα να περάσει απαρατήρητο μέχρι να φτάσει σε επικίνδυνα ή ακόμη και θανατηφόρα επίπεδα.

Παράγεται κυρίως μέσω της ατελούς καύσης καυσίμων που περιέχουν άνθρακα, όπως η βενζίνη, το ξύλο, ο άνθρακας, το προπάνιο και το φυσικό αέριο. Η διαδικασία αυτή είναι συνηθισμένη τόσο στα νοικοκυριά όσο και στη βιομηχανία, καθιστώντας το CO ένα διάχυτο στοιχείο στο καθημερινό μας περιβάλλον (Dong et al., 2021).

Αυτό που καθιστά το CO ιδιαίτερα επικίνδυνο είναι η κρυφή του επικινδυνότητα. Σε αντίθεση με τον καπνό ή τη μυρωδιά των διαρροών αερίου, το CO δεν προειδοποιεί σαφώς για την παρουσία του. Οι άνθρωποι που εκτίθενται σε αυτό μπορεί να μην αντιληφθούν ότι κάτι δεν πάει καλά μέχρι να αρχίσουν να αισθάνονται τις βλαβερές συνέπειες, οι οποίες μπορεί να κλιμακωθούν γρήγορα. Αυτός ο μοναδικός κίνδυνος του έχει δώσει το παρατσούκλι «ο σιωπηλός δολοφόνος» και ευθύνεται για χιλιάδες επισκέψεις στα επείγοντα περιστατικά και εκατοντάδες θανάτους ετησίως σε όλο τον κόσμο. Σε κλειστούς ή ανεπαρκώς αεριζόμενους χώρους, ακόμη και σχετικά μικρές ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα μπορούν να συσσωρευτούν σε απειλητικά για τη ζωή επίπεδα μέσα σε λίγα λεπτά (Dong et al., 2021).

Το CO αποτελείται από ένα άτομο άνθρακα και ένα άτομο οξυγόνου, σχηματίζοντας ένα μόριο με τον χημικό τύπο CO. Παράγεται όταν τα καύσιμα με βάση τον άνθρακα καίγονται ατελώς, κάτι που μπορεί να συμβεί σε κινητήρες, σόμπες, τζάκια, κλιβάνους και πολλές άλλες κοινές συσκευές. Αντίθετα, η πλήρης καύση αυτών των καυσίμων παράγει ιδανικά διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), ένα πολύ λιγότερο επικίνδυνο αέριο σε μικρές ποσότητες. Ωστόσο, οι πραγματικές συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται η καύση -ιδιαίτερα σε χώρους με κακό εξαερισμό ή σε συσκευές με δυσλειτουργία- συχνά οδηγούν σε ατελή καύση, δημιουργώντας αντί αυτού CO (Dong et al., 2021).

Από βιοχημική άποψη, ο πραγματικός κίνδυνος του μονοξειδίου του άνθρακα έγκειται στον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρά με το ανθρώπινο σώμα. Μόλις εισπνευστεί, το CO εισέρχεται στην κυκλοφορία του αίματος και συνδέεται με την αιμοσφαιρίνη, το μόριο που είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά του οξυγόνου στα ερυθρά

αιμοσφαίρια. Η αιμοσφαιρίνη έχει πολύ μεγαλύτερη συγγένεια για το CO από ό,τι για το οξυγόνο - περίπου 200 έως 250 φορές μεγαλύτερη. Ως αποτέλεσμα, ακόμη και μικρές συγκεντρώσεις CO μπορούν γρήγορα να καταλάβουν σημαντικό μέρος της ικανότητας του σώματος να μεταφέρει οξυγόνο. Αυτό οδηγεί σε έλλειψη οξυγόνου ή υποξία στους ιστούς και τα ζωτικά όργανα, συμπεριλαμβανομένης της καρδιάς και του εγκεφάλου. Το αποτέλεσμα μπορεί να κυμαίνεται από ήπια συμπτώματα όπως πονοκέφαλοι και κόπωση έως πιο σοβαρές συνέπειες όπως απώλεια συνείδησης, μακροχρόνιες νευρολογικές βλάβες ή θάνατο (Kabir et al., 2023).

Δεδομένης της τοξικότητας και της συχνότητάς του, η μελέτη του CO είναι απαραίτητη για πολλούς λόγους. Ο πρώτος και κυριότερος είναι η προστασία της ανθρώπινης υγείας. Τα δεδομένα για τη δημόσια υγεία δείχνουν σταθερά ότι η δηλητηρίαση από CO παραμένει ένα σοβαρό ζήτημα σε παγκόσμιο επίπεδο. Πολλά περιστατικά συμβαίνουν σε οικιακά περιβάλλοντα, ιδίως κατά τους χειμερινούς μήνες, όταν τα σπίτια είναι πιθανότερο να είναι με κλειστά παράθυρα για θέρμανση και τα συστήματα θέρμανσης βρίσκονται σε συνεχή χρήση. Οι φορητές γεννήτριες, που χρησιμοποιούνται συχνά κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος, αποτελούν επίσης σημαντικό παράγοντα κινδύνου, ιδίως όταν λειτουργούν σε εσωτερικούς χώρους ή πολύ κοντά σε κτίρια. Με την αύξηση της ευαισθητοποίησης και της κατανόησης του κοινού σχετικά με τους κινδύνους CO, πολλές από αυτές τις περιπτώσεις μπορούν να προληφθούν (Kabir et al., 2023).

Εκτός από το οικιακό περιβάλλον, οι χώροι εργασίας είναι ένα άλλο κρίσιμο περιβάλλον όπου μπορεί να συμβεί έκθεση σε CO. Τα επαγγέλματα που περιλαμβάνουν τη λειτουργία μηχανών εσωτερικής καύσης, όπως σε αποθήκες, εργοστάσια ή γκαράζ, διατρέχουν ιδιαίτερο κίνδυνο. Οι ηλεκτροσυγκολλητές, οι πυροσβέστες, οι μηχανικοί και οι βιομηχανικοί εργάτες είναι μεταξύ εκείνων που εκτίθενται συχνά σε CO, μερικές φορές χωρίς να υπάρχουν κατάλληλα συστήματα παρακολούθησης ή εξαερισμού. Σε πολλές χώρες υπάρχουν πρότυπα και κανονισμοί επαγγελματικής ασφάλειας για την προστασία των εργαζομένων από την έκθεση σε CO, αλλά η επιβολή και η τήρηση ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό. Η συνεχής έρευνα και η εκπαίδευση στον τομέα αυτό αποτελούν το κλειδί για την ανάπτυξη ασφαλέστερων πρακτικών και τη μείωση των περιστατικών στο χώρο εργασίας.

Πέρα από τις άμεσες επιπτώσεις στην υγεία, το CO παίζει επίσης ρόλο σε ευρύτερες περιβαλλοντικές και επιστημονικές συζητήσεις. Όσον αφορά την ποιότητα του αέρα, το CO θεωρείται ένας από τους σημαντικότερους ρύπους που παρακολουθούνται από τις περιβαλλοντικές υπηρεσίες. Αν και δεν αποτελεί αέριο του θερμοκηπίου με την ίδια έννοια όπως το διοξείδιο του άνθρακα ή το μεθάνιο, το CO έχει έμμεσες επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα, μπορεί να επηρεάσει τα επίπεδα του μεθανίου και του τροποσφαιρικού όζοντος, τα οποία είναι ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου. Παρεμβαίνοντας στη φυσική διάσπαση του μεθανίου στην ατμόσφαιρα, το CO συμβάλλει έμμεσα στην κλιματική αλλαγή. Ως εκ τούτου, η μελέτη του CO διασταυρώνεται με τις τρέχουσες προσπάθειες για την κατανόηση και τον μετριασμό των παγκόσμιων περιβαλλοντικών ζητημάτων (Kabir et al., 2023).

Η μελέτη του CO εξυπηρετεί επίσης σημαντικό εκπαιδευτικό σκοπό στους τομείς της χημείας, της τοξικολογίας, της ιατρικής και της περιβαλλοντικής επιστήμης. Για τους χημικούς, το CO είναι ένα θεμελιώδες μόριο που απεικονίζει βασικές έννοιες του δεσμού, της μοριακής δομής και των μηχανισμών αντίδρασης. Στην τοξικολογία, παρέχει ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για το πώς μια κοινή περιβαλλοντική ουσία μπορεί να παρεμβαίνει στις βιολογικές διεργασίες σε μοριακό επίπεδο. Για τους επαγγελματίες της ιατρικής, η κατανόηση της δηλητηρίασης από CO είναι ζωτικής σημασίας για τη διάγνωση και τη θεραπεία, ιδίως στην επείγουσα ιατρική. Τα συμπτώματα μπορεί συχνά να μιμούνται άλλες παθήσεις, όπως η γρίπη ή η τροφική δηλητηρίαση, καθιστώντας απαραίτητο τον υψηλό δείκτη υποψίας και τη σωστή χρήση των διαγνωστικών εργαλείων. Η θεραπεία με υπερβαρικό οξυγόνο, μία από τις θεραπείες για τη σοβαρή δηλητηρίαση από CO, προσφέρει επίσης μια συναρπαστική εικόνα της ιατρικής τεχνολογίας και της ανθρώπινης φυσιολογίας (Health Council of the Netherlands, 2019).

Ένας άλλος λόγος για τον οποίο η μελέτη του CO παραμένει ζωτικής σημασίας είναι η συνεχής ανάγκη για καινοτομία στις τεχνολογίες ανίχνευσης και πρόληψης. Οι παραδοσιακοί ανιχνευτές CO έχουν σώσει αμέτρητες ζωές, αλλά υπάρχουν ακόμη περιθώρια βελτίωσης. Η έρευνα για πιο ευαίσθητα, αξιόπιστα και οικονομικά προσιτά συστήματα ανίχνευσης συνεχίζει να εξελίσσεται. Επιπλέον, οι μηχανικοί και οι σχεδιαστές εργάζονται για τη δημιουργία συσκευών, οχημάτων και βιομηχανικών συστημάτων που παράγουν λιγότερο CO κατά τη λειτουργία τους. Αυτές οι εξελίξεις βασίζονται στην ενδεδειγμένη κατανόηση των διεργασιών καύσης, της χημείας των

καυσίμων και της δυναμικής της ροής του αέρα, τα οποία ενημερώνονται από την επιστημονική μελέτη του μονοξειδίου του άνθρακα (Health Council of the Netherlands, 2019).

Επιπλέον, το CO έχει ιστορική σημασία που υπογραμμίζει τη σημασία της συνεχούς εκπαίδευσης και επαγρύπνησης. Το αέριο είναι γνωστό και μελετάται εδώ και αιώνες, με αναφορές για τις επιπτώσεις του να χρονολογούνται από την αρχαιότητα. Ωστόσο, παρά την επίγνωση αιώνων, η δηλητηρίαση από CO εξακολουθεί να στοιχίζει ζωές σήμερα, κυρίως λόγω έλλειψης κατανόησης ή παραμέλησης των προφυλάξεων ασφαλείας. Αυτή η διαρκής απειλή υπογραμμίζει το γεγονός ότι η γνώση από μόνη της δεν είναι αρκετή, η αποτελεσματική επικοινωνία, η δημόσια πολιτική και η αλλαγή συμπεριφοράς αποτελούν επίσης κρίσιμα στοιχεία της πρόληψης.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι το CO δεν είναι πάντα αποτέλεσμα τυχαίας έκθεσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, έχει χρησιμοποιηθεί σκόπιμα ως μέσο αυτοκτονίας ή ακόμη και ως όπλο σε πράξεις βίας ή πολέμου. Αυτή η σκοτεινή πτυχή του ρόλου του CO στην ανθρώπινη ιστορία προσθέτει ένα ακόμη επίπεδο στους λόγους για τους οποίους πρέπει να μελετάται και να παρακολουθείται προσεκτικά. Οι επαγγελματίες ψυχικής υγείας, οι αστυνομικοί και οι εγκληματολόγοι πρέπει όλοι να γνωρίζουν τον πιθανό ρόλο του μονοξειδίου του άνθρακα σε αυτά τα πλαίσια (Health Council of the Netherlands, 2019).

Τα τελευταία χρόνια, η κλιματική αλλαγή και η αυξανόμενη εξάρτηση από εναλλακτικά καύσιμα έχουν περιπλέξει περαιτέρω την εικόνα. Καθώς οι κοινωνίες στρέφονται προς νέες ενεργειακές τεχνολογίες, όπως η βιομάζα, η αιθανόλη και τα καύσιμα με βάση το υδρογόνο, ο κίνδυνος παραγωγής CO δεν εξαφανίζεται απαραίτητα. Οποιαδήποτε διεργασία που περιλαμβάνει την καύση υλικών που περιέχουν άνθρακα έχει τη δυνατότητα να παράγει CO, εάν δεν γίνεται σωστή διαχείριση. Ως εκ τούτου, ακόμη και σε ένα μέλλον με καθαρότερες πηγές ενέργειας, το CO θα παραμείνει πιθανότατα ένα θέμα ανησυχίας. Η πρόβλεψη και η αντιμετώπιση αυτών των αναδυόμενων κινδύνων απαιτεί συνεχή έρευνα και εκπαίδευση.

Συμπερασματικά, το CO είναι ένα μόριο με τεράστιο και πολύπλοκο αντίκτυπο στην ανθρώπινη ζωή. Η σιωπηλή, αόρατη φύση του το καθιστά μια μοναδικά επικίνδυνη απειλή, ικανή να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα υγείας και θανάτους χωρίς προειδοποίηση. Η μελέτη του CO είναι ζωτικής σημασίας όχι μόνο για την προστασία

της ατομικής υγείας και της δημόσιας ασφάλειας, αλλά και για την κατανόηση ευρύτερων περιβαλλοντικών, επαγγελματικών και τεχνολογικών ζητημάτων. Όσο η καύση CO υπάρχει με κάποια μορφή στη ζωή μας είτε στα σπίτια μας, είτε στα οχήματα, είτε στις βιομηχανίες- το CO θα παραμείνει ένα θέμα κρίσιμης σημασίας. Όσο περισσότερα καταλαβαίνουμε για τις ιδιότητες, τις επιπτώσεις και την πρόληψή του, τόσο καλύτερα εξοπλισμένοι θα είμαστε για να δημιουργήσουμε ασφαλέστερα και υγιέστερα περιβάλλοντα για εμάς και τις μελλοντικές γενιές (Health Council of the Netherlands, 2019).

2 Βασικές Πληροφορίες για το Μονοξείδιο του Άνθρακα

2.1 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά της ένωσης

Το CO είναι μια χημικά απλή και ταυτόχρονα εξαιρετικά επικίνδυνη ένωση. Αποτελούμενο από ένα άτομο άνθρακα και ένα άτομο οξυγόνου, μπορεί να φαίνεται απλό με την πρώτη ματιά, αλλά η συμπεριφορά του τόσο στο φυσικό όσο και στο τεχνικό περιβάλλον το καθιστά αντικείμενο εκτεταμένης μελέτης και ανησυχίας. Παρά το γεγονός ότι είναι ένα από τα απλούστερα μόρια του χημικού κόσμου, το CO έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία, την ασφάλεια, την ποιότητα του περιβάλλοντος και τη χημεία της ατμόσφαιρας. Η κατανόηση των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του είναι ζωτικής σημασίας για την αναγνώριση του πώς και γιατί γίνεται απειλή, πώς αλληλεπιδρά με τα βιολογικά συστήματα και πώς ανιχνεύεται και μετριάζεται (Rabiee et al., 2021).

Το CO ταξινομείται ως άχρωμο, άοσμο και άγευστο αέριο σε θερμοκρασία δωματίου και ατμοσφαιρική πίεση. Είναι ελαφρώς ελαφρύτερο από τον αέρα, με μοριακό βάρος 28,01 g/mol, σε σύγκριση με τη μέση μοριακή μάζα του αέρα, η οποία είναι περίπου 29 g/mol. Αυτό σημαίνει ότι το CO τείνει να αναμιγνύεται ομοιόμορφα με τον αέρα και δεν εγκαθίσταται σε μια συγκεκριμένη θέση, γεγονός που καθιστά δύσκολη την ανίχνευσή του χωρίς εξειδικευμένα όργανα. Η αορατότητά του στις ανθρώπινες αισθήσεις είναι ένας σημαντικός λόγος για τον οποίο συχνά περιγράφεται ως «ο σιωπηλός δολοφόνος» (Rabiee et al., 2021).

Σε κανονικές συνθήκες, το CO υπάρχει ως αέριο, αν και μπορεί να υγροποιηθεί υπό υψηλή πίεση ή να ψυχθεί στο σημείο βρασμού του στους -191,5°C. Το σημείο τήξης του είναι -205°C, και τόσο σε στερεή όσο και σε υγρή μορφή, παραμένει σε μεγάλο βαθμό άχρωμο. Είναι ελάχιστα διαλυτό στο νερό, αν και αυτό δεν μειώνει την απειλή του, ιδίως στον αέρα. Το CO μπορεί να διαλυθεί σε ορισμένους οργανικούς διαλύτες και είναι μέτρια αντιδραστικό υπό συγκεκριμένες συνθήκες, γεγονός που επηρεάζει τη συμπεριφορά του σε βιομηχανικά και περιβαλλοντικά περιβάλλοντα (Rabiee et al., 2021).

Η χημική δομή του μονοξειδίου του άνθρακα αποκαλύπτει περισσότερα για τις μοναδικές ιδιότητές του. Το μόριο αποτελείται από έναν τριπλό δεσμό μεταξύ των ατόμων άνθρακα και οξυγόνου. Ένα από τα διακριτικά χαρακτηριστικά αυτού του

δεσμού είναι η παρουσία ενός συντονισμένου ομοιοπολικού δεσμού, όπου και τα δύο ηλεκτρόνια του δεσμού προσφέρονται από το ίδιο άτομο στην προκειμένη περίπτωση, το οξυγόνο. Αυτός ο ασυνήθιστος δεσμός προσδίδει στο μόριο ένα ηλεκτρικό δίπολο, το οποίο όμως είναι μικρό και το συνολικό μόριο παραμένει σχετικά μη πολικό (Rabiee et al., 2021).

Αυτός ο δεσμός καθιστά επίσης το CO αρκετά σταθερό υπό κανονικές συνθήκες, αλλά και ικανό να αντιδράσει υπό ορισμένες συνθήκες. Για παράδειγμα, μπορεί να συμμετέχει σε αντιδράσεις καύσης και χρησιμεύει ως ligand σε σύμπλοκα συντονισμού στην ανόργανη χημεία. Τα χαρακτηριστικά του δεσμού του το καθιστούν επίσης ιδιαίτερα δραστικό με μεταλλικά ιόντα, γεγονός που εξηγεί γιατί συνδέεται τόσο ισχυρά με την αιμοσφαιρίνη και άλλες πρωτεΐνες που περιέχουν σίδηρο στο ανθρώπινο σώμα. Αυτή η ισχυρή συγγένεια με τα μεταλλικά κέντρα είναι που επιτρέπει στο CO να παρεμβαίνει στη μεταφορά οξυγόνου και στην κυτταρική αναπνοή (Rabiee et al., 2021).

Μία από τις πιο επικίνδυνες πτυχές του CO είναι η συγγένεια πρόσδεσής του με την αιμοσφαιρίνη, το μόριο που είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά του οξυγόνου στην κυκλοφορία του αίματος. Η αιμοσφαιρίνη δεσμεύει κανονικά τα μόρια οξυγόνου (O_2) στους πνεύμονες και τα απελευθερώνει στους ιστούς σε όλο το σώμα. Ωστόσο, το CO συνδέεται με την αιμοσφαιρίνη περίπου 200 έως 250 φορές πιο ισχυρά από ό,τι το οξυγόνο. Όταν το CO εισπνέεται, ανταγωνίζεται με το οξυγόνο για τις θέσεις πρόσδεσης στην αιμοσφαιρίνη, σχηματίζοντας καρβοξυαιμοσφαιρίνη ($COHb$). Ως αποτέλεσμα, η ποσότητα του οξυγόνου που παρέχεται στους ιστούς μειώνεται σημαντικά, οδηγώντας σε συμπτώματα όπως πονοκέφαλοι, ζάλη, ναυτία και τελικά απώλεια συνείδησης ή θάνατο σε υψηλά επίπεδα (Rabiee et al., 2021).

Το τοξικολογικό προφίλ του CO εκτείνεται πέρα από την αιμοσφαιρίνη. Συνδέεται επίσης με τη μυοσφαιρίνη, την πρωτεΐνη που αποθηκεύει οξυγόνο και βρίσκεται στους μυϊκούς ιστούς, και την κυτοχρωμική οξειδάση, ένα βασικό ένζυμο της μιτοχονδριακής αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων. Αυτό διαταράσσει την παραγωγή ενέργειας του οργανισμού σε κυτταρικό επίπεδο, προκαλώντας περαιτέρω βλάβες στους ιστούς και βλάπτοντας τις ζωτικές λειτουργίες των οργάνων. Αυτές οι χημικές αλληλεπιδράσεις που εξετάζονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4 εξηγούν γιατί ακόμη και σχετικά χαμηλά επίπεδα CO στην ατμόσφαιρα μπορούν να είναι επικίνδυνα, ιδίως για μεγάλα χρονικά διαστήματα ή σε περιοχές με κακό αερισμό. Από την άποψη της καύσης,

το CO παράγεται κατά την ατελή καύση καυσίμων που περιέχουν άνθρακα. Στην ιδανική καύση, ο άνθρακας αντιδρά με το οξυγόνο και σχηματίζει διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), μια πιο σταθερή και πλήρως οξειδωμένη ένωση. Ωστόσο, όταν δεν υπάρχει επαρκές οξυγόνο ή όταν η καύση είναι αναποτελεσματική, αντί αυτού σχηματίζεται CO. Αυτό συμβαίνει συχνά σε σενάρια του πραγματικού κόσμου, όπως οι κινητήρες οχημάτων, οι οικιακές σόμπες, οι θερμάστρες αερίου, οι φούρνοι και οι ανοιχτές φωτιές. Ακόμη και οι συσκευές υψηλής απόδοσης μπορούν να παράγουν CO εάν δεν συντηρούνται ή δεν εξαερίζονται σωστά (Rabiee et al., 2021). Τα χαρακτηριστικά της φλόγας του CO είναι επίσης αξιοσημείωτα. Το ίδιο το CO είναι εύφλεκτο και καίγεται με ωχρό μπλε φλόγα όταν αναφλέγεται παρουσία οξυγόνου. Η αντίδραση καύσης είναι εξώθερμη και παράγει διοξείδιο του άνθρακα ως τελικό προϊόν. Η χημική εξίσωση για την αντίδραση αυτή είναι:



Η αντίδραση αυτή απελευθερώνει ενέργεια και βοηθά στην εξήγηση του συνεχούς σχηματισμού και μετασχηματισμού του CO σε δυναμικά περιβάλλοντα καύσης. Εξηγεί επίσης πώς το CO μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο πυρκαγιάς σε κλειστά περιβάλλοντα, ιδίως όταν διαρροές ή ακατάλληλος εξαερισμός επιτρέπουν τη συσσώρευσή του (Rabiee et al., 2021).

Στη βιομηχανική χημεία, το CO χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή διαφόρων χημικών ουσιών. Αποτελεί βασικό συστατικό του αερίου σύνθεσης (ή syngas), ενός μείγματος CO και υδρογόνου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή μεθανόλης, αμμωνίας και συνθετικών καυσίμων. Η διεργασία Fischer-Tropsch, για παράδειγμα, μετατρέπει το CO και το υδρογόνο σε υγρούς υδρογονάνθρακες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως καύσιμα ή πρώτες ύλες στην παραγωγή πετροχημικών προϊόντων. Στη μεταλλουργία, το CO χρησιμοποιείται ως αναγωγικό μέσο στην εξαγωγή μετάλλων από τα μεταλλεύματά τους. Οι διεργασίες αυτές βασίζονται στην ικανότητά του να προσφέρει ηλεκτρόνια και να διευκολύνει τους χημικούς μετασχηματισμούς (Tan et al., 2021).

Όσον αφορά την ανίχνευση, οι ιδιότητες του CO το καθιστούν ιδιαίτερα δύσκολο να ανιχνευθεί χωρίς όργανα. Οι περισσότεροι άνθρωποι δεν μπορούν να το ανιχνεύσουν μέχρι να αρχίσουν να εμφανίζουν συμπτώματα δηλητηρίασης. Ως εκ τούτου, οι ανιχνευτές CO έχουν γίνει απαραίτητα εργαλεία ασφαλείας σε σπίτια, χώρους εργασίας

και δημόσια κτίρια. Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν συνήθως ηλεκτροχημικούς αισθητήρες που ανιχνεύουν την παρουσία CO και ενεργοποιούν συναγερμό όταν οι συγκεντρώσεις υπερβαίνουν τα ασφαλή επίπεδα. Η δυνατότητα ανίχνευσης και παρακολούθησης του CO σε πραγματικό χρόνο αποτελεί μία από τις βασικές τεχνολογικές άμυνες κατά των βλαβερών επιπτώσεών του (Tan et al., 2021).

Ατμοσφαιρικά, το CO ταξινομείται ως ατμοσφαιρικός ρύπος κριτηρίων από οργανισμούς όπως η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA). Αν και δεν συμβάλλει άμεσα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με τον ίδιο τρόπο όπως το διοξείδιο του άνθρακα ή το μεθάνιο, το CO έχει έμμεσες επιπτώσεις στην ατμοσφαιρική χημεία. Αντιδρά με τις ρίζες υδροξυλίου (OH) στην ατμόσφαιρα, μειώνοντας τη διαθεσιμότητά τους για τη διάσπαση του μεθανίου και άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό, με τη σειρά του, αυξάνει τη διάρκεια ζωής αυτών των αερίων στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας στη μακροπρόθεσμη κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, το CO συμμετέχει σε αντιδράσεις που οδηγούν στο σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος, ενός επιβλαβούς ατμοσφαιρικού ρύπου που επηρεάζει την υγεία του αναπνευστικού συστήματος και συμβάλλει στο σχηματισμό αιθαλομίχλης (Tan et al., 2021).

Η παρουσία του μονοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον επηρεάζεται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρώπινες δραστηριότητες. Στις φυσικές πηγές περιλαμβάνονται οι πυρκαγιές, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και η φωτοχημική διάσπαση του μεθανίου και άλλων υδρογονανθράκων. Ωστόσο, η πλειονότητα του ατμοσφαιρικού CO ιδιαίτερα στις αστικές και βιομηχανικές περιοχές προέρχεται από ανθρωπογενείς πηγές, ιδίως από τις μεταφορές, τη θέρμανση και τις βιομηχανικές διεργασίες (US Environmental Agency, 2024).

Η παραμονή του CO στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, το ηλιακό φως και η παρουσία άλλων ατμοσφαιρικών χημικών ουσιών. Ο μέσος ατμοσφαιρικός χρόνος ζωής του είναι περίπου δύο μήνες, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις από την αρχική του πηγή. Αυτό έχει παγκόσμιες επιπτώσεις, καθώς το CO που παράγεται σε μια περιοχή μπορεί να συμβάλει σε προβλήματα ποιότητας του αέρα πολύ μακριά, περιπλέκοντας τις προσπάθειες διαχείρισης των επιπτώσεών του τόσο σε τοπική όσο και σε παγκόσμια κλίμακα (US Environmental Agency, 2024).

Συνολικά, η μελέτη των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του μονοξειδίου του άνθρακα αποκαλύπτει μια σύνθετη και πολύπλευρη ένωση. Από τη μία πλευρά, είναι ένα βασικό διατομικό μόριο με σχετικά απλή μοριακή δομή και συμπεριφορά. Από την άλλη, έχει βαθιές επιπτώσεις στην υγεία, την ασφάλεια, τις βιομηχανικές διεργασίες και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η χημική του σταθερότητα υπό κανονικές συνθήκες το καθιστά ανθεκτικό στο περιβάλλον, ενώ η αντιδραστικότητά του υπό τις κατάλληλες συνθήκες το καθιστά ισχυρό παράγοντα τόσο σε ευεργετικές όσο και σε επιβλαβείς χημικές αντιδράσεις.

Η κατανόηση των βασικών χαρακτηριστικών του CO θέτει τα θεμέλια για την περαιτέρω διερεύνηση των πηγών, της ανίχνευσης, του μετριασμού και των επιπτώσεών του στην υγεία. Η παραπλανητική του απλότητα κρύβει μια ισχυρή ικανότητα να παρεμβαίνει στα βιολογικά και οικολογικά συστήματα. Για το λόγο αυτό, η συνεχής έρευνα, η εκπαίδευση του κοινού και η ρυθμιστική εποπτεία είναι απαραίτητες για τη διαχείριση των κινδύνων που συνδέονται με αυτό το πανταχού παρόν και εξαιρετικά τοξικό αέριο (US Environmental Agency, 2024).

2.2 Πηγές εκπομπών CO και καταστάσεις υψηλής επικινδυνότητας για συσκευές θέρμανσης

Το CO απελευθερώνεται στο περιβάλλον από διάφορες φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές. Οι εκπομπές αυτές, ανάλογα με τη συγκέντρωση και τη θέση τους, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ποιότητα του αέρα σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, με σοβαρές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία. Στην παρούσα ενότητα εξετάζουμε τις διάφορες πηγές εκπομπών CO, εστιάζοντας ιδιαίτερα στις ανθρωπογενείς εκπομπές. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις πηγές σε εσωτερικούς χώρους, οι οποίες αποτελούν μοναδική και αυξημένη απειλή λόγω της περιορισμένης φύσης των εσωτερικών χώρων. Επιπλέον, η ενότητα αυτή εξετάζει τις καταστάσεις υψηλού κινδύνου που αφορούν συσκευές θέρμανσης σενάρια που συχνά οδηγούν σε επιβλαβείς ή θανατηφόρες εκθέσεις σε CO (Zhou et al., 2023).

2.2.1 Φυσικές πηγές CO

Το CO δεν είναι αποκλειστικά υποπροϊόν της ανθρώπινης δραστηριότητας-εμφανίζεται και φυσικά στο περιβάλλον. Μια από τις πιο σημαντικές φυσικές πηγές CO είναι οι πυρκαγιές, οι οποίες καίνε τεράστιες εκτάσεις δασών και χορτολιβαδικών εκτάσεων, απελευθερώνοντας CO σε σημαντικές ποσότητες. Κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, η ατελής καύση της βιομάζας παράγει CO μαζί με άλλα αέρια όπως διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και σωματίδια. Επειδή οι πυρκαγιές αυτές συχνά εκδηλώνονται σε απομακρυσμένες περιοχές, το CO που απελευθερώνεται μπορεί να εισέλθει στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις (Zhou et al., 2023).

Μια άλλη φυσική πηγή περιλαμβάνει την ηφαιστειακή δραστηριότητα, η οποία μπορεί να εκπέμψει μικρές ποσότητες CO μαζί με πλήθος άλλων αερίων. Αν και η συνολική παγκόσμια συμβολή των ηφαιστειών στα επίπεδα CO είναι μικρή, οι τοπικές εκπομπές μπορεί να είναι επικίνδυνες, ιδίως σε κλειστές ηφαιστειακές σπηλιές ή κατά τη διάρκεια εκρηκτικών γεγονότων (Zhou et al., 2023).

Επιπλέον, η μικροβιακή δραστηριότητα στα εδάφη και τους ωκεανούς παίζει ρόλο στη φυσική παραγωγή CO. Ορισμένοι τύποι βακτηρίων μπορούν να παράγουν ίχνη CO κατά τη διάρκεια μεταβολικών διεργασιών. Στην ατμόσφαιρα, το CO σχηματίζεται επίσης ως δευτερογενής ρύπος μέσω της οξείδωσης του μεθανίου και των υδρογονανθράκων μη μεθανίου, οι οποίοι εμφανίζονται φυσικά. Οι διαδικασίες αυτές είναι φωτοχημικές στη φύση τους και συμβάλλουν στα επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα στο υπόβαθρο της ατμόσφαιρας.

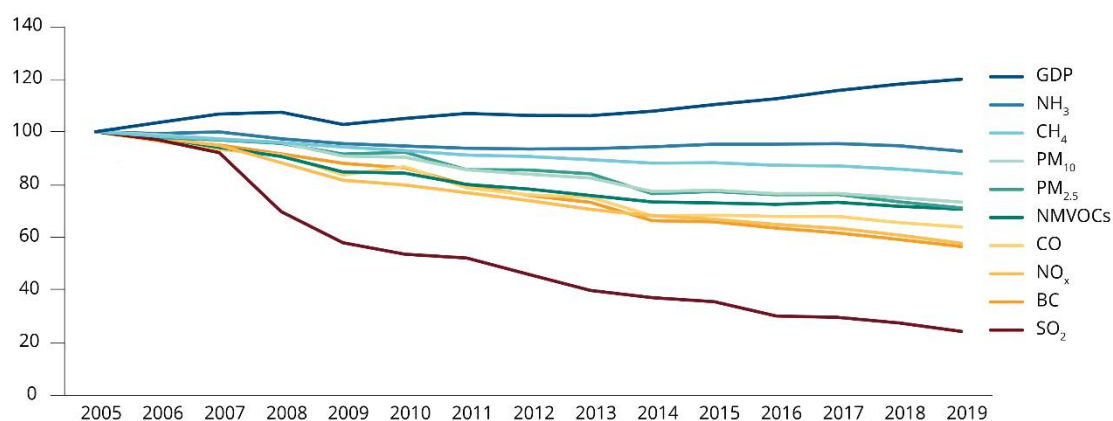
Παρά την ύπαρξη αυτών των φυσικών πηγών, η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι αυτή που ευθύνεται κυρίως για τις αυξημένες συγκεντρώσεις CO τόσο στο αστικό περιβάλλον όσο και σε εσωτερικούς χώρους (Zhou et al., 2023).

2.2.2 Ανθρωπογενείς πηγές μονοξειδίου του άνθρακα

Οι συνολικές εκπομπές στην EE-27 μειώθηκαν το 2019 για όλους τους ρύπους, διατηρώντας τη συνολική πτωτική τάση που παρατηρείται από το 2005. Το διάγραμμα 1 παρουσιάζει την τάση των συνολικών εκπομπών των κύριων ατμοσφαιρικών ρύπων στην EE-27, εκφρασμένες ως ποσοστό της τιμής τους κατά το έτος αναφοράς 2005, σε σύγκριση με το ΑΕγχΠ της EE-27 ως ποσοστό της τιμής του 2005.

Οι εκπομπές PM₁₀ και PM_{2,5} μειώθηκαν κατά 27 % και 29 % αντίστοιχα κατά την περίοδο 2005-2019. Αξίζει να σημειωθεί ότι η χαμηλότερη μείωση των εκπομπών (-8 %) κατά την περίοδο αυτή παρατηρήθηκε για το NH₃, ένα σημαντικό αέριο πρόδρομο που συμβάλλει στο σχηματισμό δευτερογενών σωματιδίων. Ενώ οι εκπομπές NH₃ μειώθηκαν κατά 2% από το 2018 έως το 2019, αυτό ακολούθησε μια περίοδο αύξησης των εκπομπών από το 2015 έως το 2018. Οι εκπομπές CH₄ μειώθηκαν επίσης κατά μόλις 17%, με το CH₄ να αποτελεί σημαντικό αέριο θερμοκηπίου που συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή, καθώς και σημαντικό πρόδρομο του O₃. Η κύρια πηγή τόσο του NH₃ όσο και του CH₄ είναι ο γεωργικός τομέας.

Αντίθετα, οι εκπομπές SO₂ μειώθηκαν σημαντικά από το 2005, με μείωση κατά 76%. Σημαντικές μειώσεις παρατηρήθηκαν επίσης για το BC και το NO_x, με μειώσεις 43% και 36% αντίστοιχα.



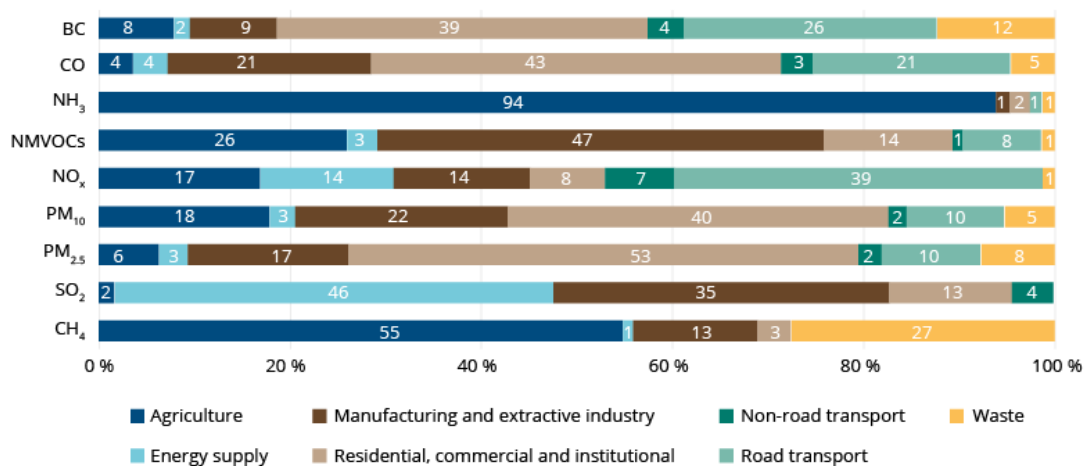
Διάγραμμα 1: Τάση των εκπομπών NH₃, CH₄, πρωτογενών PM₁₀, πρωτογενών PM_{2,5}, NMVOC, CO, NO_x, BC και SO₂ στην ΕΕ-27, ως ποσοστό των επιπέδων του 2005, από το 2005 έως το 2019, σε σύγκριση με το ΑΕγχΠ της ΕΕ-27 ως ποσοστό του ΑΕγχΠ του 2005. Πηγή: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/sources-and-emissions-of-air>

Κύριες πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων το 2019

Οι οικονομικοί τομείς που αποτελούν τις ανάντη πηγές των ατμοσφαιρικών εκπομπών ποικίλλουν ανάλογα με τον ρύπο. Το διάγραμμα 3 παρουσιάζει τη συμβολή των κύριων τομέων πηγών στις εκπομπές βασικών ατμοσφαιρικών ρύπων στην ΕΕ-27 το 2019.

Όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια, η κύρια πηγή τόσο των PM₁₀ όσο και των PM_{2,5} ήταν η κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό, εμπορικό και θεσμικό τομέα, που ήταν υπεύθυνη για το 40 % και το 53 % των εκπομπών αντίστοιχα. Η μεταποιητική και η εξορυκτική βιομηχανία και οι οδικές μεταφορές ήταν επίσης σημαντικές πηγές και για τους δύο ρύπους, ενώ η γεωργία ήταν σημαντική πηγή PM₁₀.

- Ο γεωργικός τομέας ήταν η κύρια πηγή NH₃, υπεύθυνος για το 94 % των εκπομπών.
- Ο γεωργικός τομέας συνέβαλε επίσης σε περισσότερο από το ήμισυ του συνόλου των εκπομπών CH₄. Ο τομέας των αποβλήτων ήταν η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή CH₄.
- Ο τομέας των οδικών μεταφορών ήταν η κύρια πηγή εκπομπών NO_x, ευθυνόμενος για το 39 % των εκπομπών. Η κατανάλωση ενέργειας στους οικιακούς, εμπορικούς και θεσμικούς τομείς είναι η κύρια πηγή εκπομπών CO και BC.
- Ο τομέας της μεταποίησης και της εξόρυξης ήταν η κύρια πηγή εκπομπών NMVOC, ευθυνόμενος για το 47% των εκπομπών. Η γεωργία ήταν η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή.
- Η παροχή ενέργειας ήταν η κύρια πηγή εκπομπών SO₂, με τη μεταποίηση και την εξόρυξη να είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή.



Διάγραμμα 2: Συνεισφορά των κύριων τομέων πηγών στις εκπομπές BC, CO, NH₃, NMVOC, NO_x, πρωτογενών PM₁₀, πρωτογενών PM_{2,5}, SO₂ και CH₄ στην ΕΕ-27 το 2019. Πηγή: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/sources-and-emissions-of-air>

3 Επίπεδα συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα

Η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα μετράται συνήθως σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) ή χιλιοστόγραμμα ανά κυβικό μέτρο (mg/m^3). Ένα μέρος ανά εκατομμύριο σημαίνει ότι για κάθε εκατομμύριο μονάδες όγκου αέρα, μία μονάδα όγκου είναι CO. Αυτό μπορεί να φαίνεται σαν μια απίστευτα μικρή ποσότητα, αλλά ακόμη και πολύ χαμηλά επίπεδα CO μπορούν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία με την πάροδο του χρόνου.

Η έκθεση σε CO αξιολογείται συχνά σε διαφορετικά χρονικά πλαίσια ανάλογα με το πλαίσιο και τους κανονισμούς όπως περίοδοι μέσου όρου 1 ώρας, 8 ωρών ή 24 ωρών. Οι κατευθυντήριες γραμμές βραχυπρόθεσμης έκθεσης είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη οξείας δηλητηρίασης, ενώ τα πρότυπα μακροπρόθεσμης έκθεσης συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση των χρόνιων κινδύνων για την υγεία (Kwak et al., 2021).

Όσον αφορά τις επιπτώσεις στην υγεία, τα επίπεδα CO μπορούν να καταταχθούν σε διάφορες κατηγορίες με βάση τον κίνδυνο (ΠΗΓΗ): (European Commission, 2023)

- 0-1 ppm: Κανονικά επίπεδα υποβάθρου σε καθαρά εξωτερικά περιβάλλοντα.
- 1-9 ppm: Αποδεκτό εύρος ποιότητας αέρα εσωτερικών χώρων σύμφωνα με τον ΠΟΥ για μακροχρόνια έκθεση.
- 10-50 ppm: Χαμηλός έως μέτριος κίνδυνος για την υγεία- η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να επηρεάσει τα ευαίσθητα άτομα.
- 50-200 ppm: Κίνδυνος πονοκεφάλου, ζάλης και ήπιας δηλητηρίασης με μεγαλύτερη έκθεση.
- 200-400 ppm: Σημαντικός κίνδυνος για την υγεία- τα συμπτώματα μπορεί να αρχίσουν μέσα σε 1-2 ώρες.
- 800-1.000+ ppm: Απειλητική για τη ζωή- μπορεί να επέλθει απώλεια των αισθήσεων ή θάνατος μέσα σε λίγα λεπτά έως μία ώρα.

Ο εξωτερικός αέρας περιέχει συνήθως CO σε συγκεντρώσεις μεταξύ 0,03 ppm και 2 ppm σε καθαρές, αγροτικές περιοχές. Αυτά τα χαμηλά επίπεδα είναι κυρίως αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών όπως η οξείδωση του μεθανίου και η βιολογική δραστηριότητα μικρής κλίμακας στο έδαφος. Ωστόσο, οι συγκεντρώσεις αυξάνονται

σημαντικά στις αστικές περιοχές, ιδίως κοντά σε πηγές όπως διασταυρώσεις κυκλοφορίας, σήραγγες και γκαράζ στάθμευσης (Kumar et al., 2023).

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ), η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA) και η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) έχουν θεσπίσει πρότυπα ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα για την προστασία του κοινού. Για παράδειγμα, τα Εθνικά Πρότυπα Ποιότητας του Ατμοσφαιρικού Αέρα (NAAQS) της EPA ορίζουν το όριο σε:

- 9 ppm για μέσο όρο 8 ωρών
- 35 ppm για μέσο όρο 1 ώρας (Kumar et al., 2023).

Τα επίπεδα αυτά έχουν σχεδιαστεί για την πρόληψη τόσο άμεσων όσο και μακροπρόθεσμων επιπτώσεων στην υγεία, ιδίως σε ευάλωτους πληθυσμούς όπως τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι και τα άτομα με καρδιαγγειακές παθήσεις. Οι σταθμοί παρακολούθησης του αέρα που έχουν τοποθετηθεί σε πόλεις σε όλο τον κόσμο παρακολουθούν συνεχώς αυτές τις συγκεντρώσεις και εκδίδονται προειδοποιήσεις όταν τα επίπεδα υπερβαίνουν τα όρια ασφαλείας (Kabir et al., 2023).

Σε αστικά περιβάλλοντα με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση, τα επίπεδα CO μπορεί να φτάσουν τα 5-10 ppm στην άκρη του δρόμου, ιδίως κατά τις ώρες αιχμής. Σε ακραίες περιπτώσεις, όπως σε σήραγγες με κακό εξαερισμό ή σε στεγασμένους χώρους στάθμευσης, οι συγκεντρώσεις μπορεί να εκτοξευθούν στα 30 ppm ή και περισσότερο. Ωστόσο, η ρύπανση από CO στην ύπαιθρο έχει μειωθεί σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες τις τελευταίες δεκαετίες λόγω των καθαρότερων εκπομπών των οχημάτων, της υιοθέτησης καταλυτικών μετατροπών και των αυστηρότερων περιβαλλοντικών κανονισμών (Kabir et al., 2023).

Αντίθετα, πολλές πόλεις στις αναπτυσσόμενες χώρες εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις CO λόγω των παλαιότερων οχημάτων, της έλλειψης ελέγχων των εκπομπών και της μεγάλης εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα. Οι περιοχές αυτές μπορεί να εμφανίζουν τακτικά επίπεδα σε εξωτερικούς χώρους που υπερβαίνουν τα 10 ppm, και σε ορισμένες ακραίες συνθήκες, ακόμη και υψηλότερα.

- Επίπεδα συγκέντρωσης CO σε εσωτερικούς χώρους

Τα εσωτερικά περιβάλλοντα αέρα συχνά παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερο κίνδυνο για επικίνδυνη συσσώρευση CO λόγω του περιορισμένου χώρου, του κακού εξαερισμού και της εγγύτητας σε πηγές καύσης. Σε καλά αεριζόμενα σπίτια χωρίς σημαντικές συσκευές

καύσης καυσίμων, τα επίπεδα CO συνήθως παραμένουν κάτω από 1-2 ppm, τα οποία βρίσκονται εντός του φυσιολογικού εύρους υποβάθρου. Ωστόσο, όταν μπαίνουν στο παιχνίδι συσκευές καύσης, όπως σόμπες αερίου, φούρνοι, τζάκια ή θερμοσίφωνες, οι συγκεντρώσεις CO σε εσωτερικούς χώρους μπορούν γρήγορα να κλιμακωθούν (Kabir et al., 2023).

Οι κακώς αεριζόμενες κουζίνες που χρησιμοποιούν σόμπες αερίου μπορεί να φτάσουν σε επίπεδα 10-30 ppm ή και περισσότερο κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος. Εάν υπάρχει δυσλειτουργία της σόμπας ή μπλοκαρισμένος εξαερισμός, τα επίπεδα αυτά μπορούν να παραμείνουν για παρατεταμένες περιόδους, θέτοντας τους κατοίκους σε κίνδυνο χρόνιας έκθεσης σε χαμηλά επίπεδα.

Σε ακραίες περιπτώσεις, οι ελαττωματικές θερμάστρες αερίου ή η χρήση σε εσωτερικούς χώρους ψησταριών με κάρβουνα ή φορητών γεννητριών μπορεί να προκαλέσει την εκτόξευση των επιπέδων CO πάνω από τα 100 ppm, οδηγώντας σε σοβαρούς κινδύνους για την υγεία και ακόμη και σε θανάτους. Πολλές περιπτώσεις μαζικής δηλητηρίασης από CO συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όταν οι άνθρωποι σφραγίζουν τα παράθυρα και βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στις συσκευές θέρμανσης, παγιδεύοντας κατά λάθος CO σε εσωτερικούς χώρους (Kabir et al., 2023).

Επαγγελματικά περιβάλλοντα όπως αποθήκες, λεβητοστάσια, γκαράζ και βιομηχανικές εγκαταστάσεις μπορούν επίσης να παρουσιάσουν αυξημένα επίπεδα CO, ειδικά όταν χρησιμοποιείται εξοπλισμός καύσης καυσίμων. Ο Οργανισμός Επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας (OSHA) στις ΗΠΑ έχει ορίσει ένα επιτρεπόμενο όριο έκθεσης (PEL) 50 ppm για ένα 8ωρο εργασίας, ενώ το Εθνικό Ινστιτούτο Επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας (NIOSH) συνιστά ανώτατο όριο 200 ppm και επίπεδο άμεσου κινδύνου για τη ζωή και την υγεία (IDLH) 1.200 ppm.

Στα οχήματα, ιδίως με κινητήρες στο ρελαντί και κακά συστήματα εξάτμισης, οι συγκεντρώσεις CO μπορούν να φτάσουν σε θανατηφόρα επίπεδα μέσα σε λίγα λεπτά. Αυτοκίνητα που παραμένουν σε λειτουργία σε κλειστά γκαράζ έχουν ευθύνεται για πολυάριθμους θανάτους. Ομοίως, ο αέρας της καμπίνας σε οχήματα που βρίσκονται σε μποτιλιάρισμα με κακό εξαερισμό μπορεί να συσσωρεύσει υψηλότερα επίπεδα CO από τον εξωτερικό αέρα (Bao et al., 2021).

Πολιτικό πλαίσιο και διακυβέρνηση της ΕΕ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) καθορίζει τα πρότυπα ποιότητας του αέρα μέσω ενός ολοκληρωμένου νομοθετικού πλαισίου. Βασικά στοιχεία αυτού του πλαισίου είναι η αναθεωρημένη οδηγία για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (2024/2881) και η οδηγία 2008/50/ΕΚ, οι οποίες αποσκοπούν στην ευθυγράμμιση των προτύπων της ΕΕ με τις συστάσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ) (European Environment Agency, 2023). Το πλαίσιο αυτό καλύπτει 12 ρυθμιζόμενους ρύπους, μεταξύ των οποίων τα PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, O₃, SO₂, βενζόλιο, μόλυβδος, CO, αρσενικό, κάδμιο, νικέλιο και βενζο(α)πυρένιο.

Σύμφωνα με το καθεστώς αυτό:

Οι ετήσιες οριακές τιμές για τα PM_{2.5} έχουν μειωθεί κατά περισσότερο από το ήμισυ.

Τα όρια, τα οποία αναθεωρούνται τακτικά, εφαρμόζονται με ενσωματωμένους μηχανισμούς επανεξέτασης, ώστε να αντανakλούν την επιστημονική πρόοδο.

Τα κράτη μέλη πρέπει να παρακολουθούν την ατμόσφαιρα μέσω ενός ελάχιστου αριθμού ζωνών και σταθμών, να αφαιρούν τις φυσικές πηγές υπό συγκεκριμένες συνθήκες και να θεσπίζουν σχέδια για την ποιότητα του αέρα όταν σημειώνονται υπερβάσεις.

Οι πολίτες που επηρεάζονται από την επιβλαβή ποιότητα του αέρα έχουν το δικαίωμα να προσφεύγουν στη δικαιοσύνη και να ζητούν αποζημίωση.

Η νομοθεσία αυτή αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της φιλοδοξίας της ΕΕ για μηδενική ατμοσφαιρική ρύπανση έως το 2050 και ευθυγραμμίζεται με το όραμα της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας για μηδενική ρύπανση (European Environment Agency, 2023).

Υποδομή παρακολούθησης και υποβολή δεδομένων

Η αξιόπιστη παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα απαιτεί εκτεταμένη υποδομή:

Πάνω από 4 000 σταθμοί παρακολούθησης σε ολόκληρη την ΕΕ συλλέγουν δεδομένα για πολλαπλούς ρύπους, με την υποστήριξη προηγμένων δικτύων μοντελοποίησης.

Οι ζώνες ποιότητας του αέρα ταξινομούν τις περιοχές σε αστικές, αγροτικές και περιοχές που επηρεάζονται από την κυκλοφορία, προκειμένου να διασφαλιστεί η χωρική αντιπροσωπευτικότητα (European Environment Agency, 2023).

Τα δεδομένα συγκεντρώνονται μέσω της πύλης για την ποιότητα του αέρα του ΕΟΠ, της AirBase, του κεντρικού αποθετηρίου δεδομένων και του δείκτη ποιότητας του αέρα/της εφαρμογής για πρόσβαση του κοινού σε πραγματικό χρόνο.

Η τεχνική υποστήριξη περιλαμβάνει πρότυπα πρωτόκολλα μέτρησης (π.χ. EN 14662 για το βενζόλιο, EN14625 για το όζον), κατευθυντήριες γραμμές για τη μοντελοποίηση και μέτρα ελέγχου της ποιότητας (European Environment Agency, 2023).

Τρέχουσα κατάσταση της ποιότητας του αέρα (2022-2023)

Σύμφωνα με την έκθεση του ΕΟΠ για το 2023 («Η κατάσταση της ποιότητας του αέρα στην Ευρώπη το 2023»):

Τα στοιχεία για την περίοδο 2021-2022 δείχνουν συνεχιζόμενες υπερβάσεις των νομικών ορίων της ΕΕ και των κατευθυντήριων τιμών του ΠΟΥ (European Commission, 2023).

Το 2022, μόνο το 2 % των σταθμών παρακολούθησης υπερέβη το ετήσιο όριο της ΕΕ για τα $PM_{2,5}$. Ωστόσο, σχεδόν το 96 % των κατοίκων των αστικών περιοχών εκτέθηκε σε επίπεδα $PM_{2,5}$ που υπερέβαιναν τις κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ.

Η χρόνια έκθεση σε λεπτές σωματίδια προκαλεί σχεδόν 240.000 πρόωρους θανάτους κάθε χρόνο σε ολόκληρη την ΕΕ.

Ενώ οι συγκεντρώσεις PM_{10} , $PM_{2,5}$ και NO_2 παρουσιάζουν ετήσια μείωση (2-3%), το όζον στο επίπεδο του εδάφους (O_3) αυξάνεται ελαφρώς στις νότιες περιοχές.

Τα οικοσυστήματα επηρεάζονται με παρόμοιο τρόπο: σχεδόν τα τρία τέταρτα των οικοσυστημάτων της Ευρώπης αντιμετωπίζουν επιβλαβή επίπεδα ρύπανσης.

Οι κύριες πηγές ρύπανσης περιλαμβάνουν την παραγωγή ενέργειας, τη βιομηχανία, τη θέρμανση των νοικοκυριών, τη γεωργία (ιδίως η αμμωνία) και τις μεταφορές (European Commission, 2023).

Δεσμεύσεις για τη μείωση της ρύπανσης

Τα κράτη μέλη της ΕΕ είναι νομικά υποχρεωμένα, βάσει της οδηγίας για τα εθνικά ανώτατα όρια εκπομπών (NEC) (2016/2284), να μειώσουν πέντε βασικούς ρύπους έως το 2029, με στόχο πιο φιλόδοξες μειώσεις έως το 2030. Οι ρύποι αυτοί

περιλαμβάνουν το SO₂, το NO_x, τα NMVOC, το NH₃ και τα PM_{2.5}. Η εφαρμογή περιλαμβάνει εθνικούς καταλόγους ρύπων και προγράμματα ελέγχου των εκπομπών.

Η δεύτερη έκθεση προόδου σχετικά με την εφαρμογή της NEC εκδόθηκε το 2024.

Επιπλέον, πρωτοβουλίες σε επίπεδο ΕΕ, όπως η «Προοπτική για καθαρό αέρα», οι διμερείς διάλογοι για τον καθαρό αέρα και το Φόρουμ για τον καθαρό αέρα, αποσκοπούν να καθοδηγήσουν τις πολιτικές έως το 2030 και πέραν αυτού.

Πρόσφατες πολιτικές εξελίξεις

Αυστηρότερα πρότυπα (2024): Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε αυστηρότερα όρια για τα PM_{2.5} και το NO₂ που πρέπει να τηρηθούν έως το 2030, συνδυάζοντας τη νομική ομοιομορφία και τα δικαιώματα των πολιτών με νέους δείκτες ποιότητας του αέρα (European Commission, 2023).

Νέα όρια: Μείωση των PM_{2.5} από 25 σε 10 μg/m³ και των NO₂ από 40 σε 20 μg/m³ ετησίως.

Αυτές οι αυστηρότερες προσαρμογές παραμένουν υψηλότερες από τις κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ για το 2021.

Έλεγχος καταλληλότητας 2019: Μια διεξοδική αξιολόγηση των οδηγιών για τον ατμοσφαιρικό αέρα της περιόδου 2008-2018 εντόπισε αδυναμίες στην εφαρμογή και συνέστησε την ενίσχυση της παρακολούθησης, της μοντελοποίησης και της καθοδήγησης.

Οδηγία για το όζον: Παρακολούθηση των υπερβάσεων με 700+ σταθμούς· όρια για τον περιορισμό των ημερών με υπερβάσεις άνω των 120 μg/m³ σε λιγότερες από 25 ετησίως.

Τα λεπτά σωματίδια αποτελούν τον μεγαλύτερο κίνδυνο για την υγεία του περιβάλλοντος στην ΕΕ και συνδέονται με τον καρκίνο του πνεύμονα, το άσθμα και τις καρδιαγγειακές παθήσεις, ιδίως μεταξύ των ευάλωτων πληθυσμών.

Το εκτιμώμενο οικονομικό κόστος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης κυμαίνεται από 231 δισεκατομμύρια ευρώ έως 853 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως, λαμβάνοντας υπόψη την απώλεια εργασίας, την υγειονομική περίθαλψη και τις ζημιές στο οικοσύστημα (European Commission, 2023). Με την υιοθέτηση αυστηρότερων ορίων που ευθυγραμμίζονται με τις κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ, η ΕΕ θα μπορούσε να εξοικονομήσει έως και 38 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως σε δαπάνες υγείας. Παρά τις

προόδους που έχουν σημειωθεί στον τομέα της πολιτικής, η ατμοσφαιρική ρύπανση παραμένει μια σημαντική απειλή για την υγεία. Οι βασικές προκλήσεις Οι αστικές περιοχές και οι πυκνοκατοικημένες περιοχές εξακολουθούν να υπερβαίνουν τα όρια των κατευθυντήριων γραμμών, παρά τις βελτιώσεις στις υποδομές.

Το όζον παραμένει ένα αυξανόμενο πρόβλημα στη νότια Ευρώπη.

Οι φυσικές πηγές (π.χ. σκόνη, αλάτι στους δρόμους) περιπλέκουν τις αξιολογήσεις συμμόρφωσης. Οι κανόνες της ΕΕ επιτρέπουν μερική αντιστάθμιση. Οι καθυστερήσεις των κρατών μελών στην εφαρμογή αυστηρότερων προτύπων (έως και 10 έτη) και οι ρήτρες αναβολής αντανakλούν πολιτικές και τεχνικές προκλήσεις. Ωστόσο, σαφείς βελτιώσεις — όπως η μείωση των υπερβάσεων των $PM_{2,5}$ και των συνολικών εκπομπών — αποδεικνύουν ότι η πολιτική για την ποιότητα του αέρα είναι αποτελεσματική. Απαιτούνται συνεχιζόμενες προσπάθειες, ιδίως για την επίτευξη των στόχων μηδενικής ρύπανσης έως το 2050, τη μείωση των πρόωρων θανάτων κατά τουλάχιστον 55 % έως το 2030 (σε σχέση με το 2005) και την πλήρη ευθυγράμμιση με τις κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ.

Η πολιτική της Ευρώπης για την ποιότητα του αέρα βασίζεται σε ένα ισχυρό νομικό πλαίσιο, εκτεταμένη υποδομή παρακολούθησης και συνεχιζόμενες υποχρεώσεις μείωσης των εκπομπών. Τα τελευταία στοιχεία του ΕΟΠ δείχνουν σταθερή βελτίωση της ποιότητας του αέρα, ωστόσο οι εκτεταμένες υπερβάσεις των ορίων ρύπων εξακολουθούν να απειλούν τη δημόσια υγεία, ιδίως στις πόλεις. Με την υιοθέτηση νέων αυστηρότερων προτύπων το 2024, η ΕΕ εισέρχεται σε μια κρίσιμη δεκαετία: μια δεκαετία που πρέπει να γεφυρώσει το χάσμα με τις κατευθυντήριες γραμμές του ΠΟΥ, να προστατεύσει τα οικοσυστήματα, να περιορίσει τις επιπτώσεις στην υγεία και να εκπληρώσει τον στόχο της για μηδενική ρύπανση έως το 2050 (European Commission, 2023).

4 Μηχανισμός δράσης του CO

Το CO είναι ένα άγευστο, άοσμο, μη ερεθιστικό αλλά ιδιαίτερα τοξικό αέριο. Το CO εισέρχεται στο σώμα μέσω της εισπνοής και διαχέεται στην κυψελιδική μεμβράνη με την ίδια σχεδόν ευκολία όπως το οξυγόνο. Το εισπνεόμενο CO απορροφάται ταχύτατα από τους πνεύμονες. Διαλύεται πρώτα στο αίμα και στη συνέχεια συνδέεται γρήγορα με την αιμοσφαιρίνη (Hb), σχηματίζοντας καρβοξυαιμοσφαιρίνη (COHb). Η Hb είναι η πιο άφθονη πρωτεΐνη στο αίμα, με επίπεδα συγκέντρωσης 12-15 g/dL. Η σύνδεση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ικανότητας του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο, οδηγώντας στην υποξία των ιστών. Η COHb έχει χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα, το οποίο ευθύνεται για την ιδιαίτερη κερασί απόχρωση που δημιουργείται στα θύματα, στις περισσότερες περιπτώσεις. Η πρόσληψη του CO από την αιμοσφαιρίνη είναι τόσο γρήγορη, ώστε η μερική πίεση του CO στα τριχοειδή αγγεία να παραμένει εξαιρετικά χαμηλή, καθιστώντας τη διαδικασία της διάχυσης τον παράγοντα που επηρεάζει τη μεταφορά του. Η αιμοσφαιρίνη έχει συγγένεια με το CO, 250 φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με το οξυγόνο. Έτσι, το μονοξείδιο του άνθρακα ανταγωνίζεται έντονα με το οξυγόνο για τις θέσεις δέσμευσης της αιμοσφαιρίνης, αλλά, σε αντίθεση με το οξυγόνο, το οποίο διαχωρίζεται γρήγορα και εύκολα από τον δεσμό αιμοσφαιρίνης του, το CO παραμένει δεσμευμένο για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Με αυτόν τον τρόπο, η COHb συνεχίζει να αυξάνεται με τη συνεχή έκθεση, αφήνοντας λιγότερη αιμοσφαιρίνη διαθέσιμη για να γίνει μεταφορά οξυγόνου. Επιπλέον, η καρβοξυαιμοσφαιρίνη απελευθερώνει το CO με πολύ αργό ρυθμό, αυτό οδηγεί ακόμη περισσότερο στον περιορισμό της απελευθέρωσης οξυγόνου. Η συγκέντρωση της COHb στο αίμα εξαρτάται από τη διάρκεια της έκθεσης και την ποσότητα του CO στον εισπνεόμενο αέρα. Το CO δεσμεύεται επίσης με τη μυοσφαιρίνη στα κύτταρα του μυοκαρδίου, μειώνοντας την παροχή οξυγόνου στα μιτοχόνδρια, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την παραγωγή ενέργειας στην καρδιά. Άτομα με προϋπάρχουσες καρδιοπάθειες διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο θανάτου λόγω αρρυθμιών ή άλλων σοβαρών καρδιακών παθήσεων. Για παράδειγμα σε μια ομάδα Ελβετών στρατιωτών που εκτέθηκαν τυχαία σε CO, το 34% ανέφερε πόνο στο στήθος δύο εβδομάδες μετά την έκθεση. Μετά από μελέτη του κινδύνου θνησιμότητας σε ασθενείς με μέτρια έως σοβαρή δηλητηρίαση από CO παρατηρήθηκε ότι, σε άτομα με χαμηλό κίνδυνο για καρδιαγγειακά νοσήματα, το 37%

υπέστη οξεία μυοκαρδιακή βλάβη και το 38% πέθαναν μέσα σε 7 χρόνια. Η αναμενόμενη θνησιμότητα των ΗΠΑ λόγω έκθεσης στο CO κατά ηλικία και φύλο ήταν τρεις φορές χαμηλότερη από το τελικό ποσοστό θνησιμότητας (Penney et al., 2010; Prokop et al., 2007; Sakai et al., 2022).

Περιγραφή Περιστατικού	Πληθυσμός/Ομάδα	Ποσοστό/Αριθμός	Παρατηρήσεις
Πόνος στο στήθος δύο εβδομάδες μετά από έκθεση σε CO	Ελβετοί στρατιώτες	34%	Έκθεση έγινε τυχαία (τυχαίο επεισόδιο έκθεσης)
Οξεία μυοκαρδιακή βλάβη μετά από μέτρια έως σοβαρή δηλητηρίαση από CO	Άτομα με χαμηλό καρδιαγγειακό κίνδυνο	37%	Αν και χωρίς προηγούμενα καρδιολογικά προβλήματα, εμφάνισαν μυοκαρδιακή βλάβη
Θάνατοι εντός 7 ετών μετά από μέτρια έως σοβαρή δηλητηρίαση από CO	Ίδια ομάδα	38%	Μακροχρόνια παρακολούθηση, υψηλή καθυστερημένη θνησιμότητα
Αναμενόμενη vs. πραγματική θνησιμότητα λόγω CO (ΗΠΑ, βάση ηλικίας/φύλου)	Πληθυσμός ΗΠΑ	x3	Η πραγματική θνησιμότητα ήταν 3 φορές υψηλότερη από την αναμενόμενη

4.1.1 Ομάδες υψηλού κινδύνου

Η δηλητηρίαση από CO αποτελεί μια από τις συχνότερες αιτίες θνησιμότητας και νοσηρότητας λόγω τοξικότητας παγκοσμίως και το ένα τρίτο των δηλητηριάσεων αφορούν παιδιά. Τα παιδιά θεωρούνται πιο ευάλωτα στην τοξικότητα του CO σε σχέση με τους ενήλικες, λόγω των αυξημένων ρυθμών αναπνοής και μεταβολισμού, της υψηλής ανάγκης του για οξυγόνο και της ανωριμότητας του κεντρικού νευρικού συστήματος. Οι Yasar et al. (2009) είχαν προτείνει νέες θεωρίες για τις νευρολογικές επιπτώσεις της τοξικότητας του CO. Τα κλινικά συμπτώματα της οξείας δηλητηρίασης από CO ποικίλουν. Η μη έγκαιρη αναγνώριση της έκθεσης σε CO μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές επιπλοκές και αυξημένο κίνδυνο θνησιμότητας. Τα παιδιά που εκτίθενται σε CO παρουσιάζουν συμπτώματα νωρίτερα από τους ενήλικες και αναρρώνουν επίσης ταχύτερα. Τα ήπια συμπτώματα της δηλητηρίασης περιλαμβάνουν πονοκέφαλο, ζάλη, αδυναμία, λήθαργο και μυϊκούς πόνους. Ωστόσο, σε σοβαρότερες περιπτώσεις μπορούν να παρατηρηθούν και συμπτώματα όπως θολή όραση, συγκοπή, σπασμοί, κώμα, καρδιοπνευμονική ανακοπή και θάνατος. Οι νευρολογικές εκδηλώσεις περιλαμβάνουν αλλοιωμένη ψυχική κατάσταση σε διαφορετικούς βαθμούς, δυσκαμψία του αυχένα, τρόμο και αταξία. Επιπλέον, τα παιδιά διατρέχουν κίνδυνο εμφάνισης καθυστερημένων νευρολογικών συνεπειών, όπως προβλήματα μνήμης, γνωστική καθυστέρηση, ακράτεια, παράλυση προσώπου, ψύχωση, χρόνια πονοκέφαλο και επιληπτικές κρίσεις. Τέλος η παρατεταμένη έκθεση σε CO (πάνω από 8 ώρες), μπορεί να προκαλέσει ακόμη και κώμα και καρδιακή ανακοπή. Τα υψηλά επίπεδα COHb θεωρούνται ότι αυξάνουν τον κίνδυνο νευρολογικών συνεπειών. Είναι σημαντικό τα παιδιά που έχουν εκτεθεί σε CO να παρακολουθούνται προσεκτικά για τον έγκαιρο εντοπισμό και τη διαχείριση αυτών των επιπτώσεων.

4.1.2 CO και ηλικιωμένοι

Το CO, ένα τοξικό αέριο, αποτελεί σημαντική απειλή για την ανθρώπινη υγεία. Ιδιαίτερα οι ευπαθείς ομάδες όπως οι ηλικιωμένοι, οι έγκυες, τα παιδιά, τα άτομα με καρδιαγγειακά προβλήματα και οι καπνιστές διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο σε περίπτωση δηλητηρίασης από CO. Η μελέτη των Vural et al. (2024) είχε στόχο να αξιολογηθούν τα κλινικά χαρακτηριστικά των παιδιών, των εγκύων και των ηλικιωμένων ασθενών που είχαν επιβεβαιωμένη διάγνωση δηλητηρίασης από CO, εξαιρουμένων των παιδιών και των εγκύων που τα επίπεδα COHb ήταν κάτω από 5% και των ηλικιωμένων με επίπεδα κάτω των 10%. Συμπεριλήφθηκαν ασθενείς ηλικίας < 18 ετών, > 65 ετών και έγκυες ασθενείς που εισήχθησαν στο τμήμα επειγόντων περιστατικών των ενηλίκων και των παιδιατρικών. Για τα παιδιά, παρατηρήθηκε μεγάλη διαφορά μεταξύ των άλλων δύο ομάδων ως προς τα συμπτώματά τους, τα οποία αφορούσαν κυρίως σε νευρολογικά και γενικά συμπτώματα. Για τις εγκύους ασθενείς, δεν παρατηρήθηκε ενδονοσοκομειακή θνησιμότητα στις γυναίκες ασθενείς που συμμετείχαν σε αυτή τη μελέτη. Τα υψηλότερα επίπεδα COHb κατά την εισαγωγή συσχετίστηκαν με μια πιο θανατηφόρα ενδονοσοκομειακή πορεία, με τα επίπεδα COHb > 40% όλων των ασθενών να χρειάζονται διασωλήνωση. Για τα συμπτώματα των ηλικιωμένων ασθενών, δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με τα συμπτώματα των άλλων δυο ομάδων. Για λοιπές ευπαθείς ομάδες ισχύει ότι κινδυνεύουν περισσότερο από την έκθεση στο CO και τα αποτελέσματα της μελέτης επισημαίνουν την ανάγκη να ληφθούν μέτρα προκειμένου να προστατευτούν οι ομάδες αυτών των ατόμων από τη δηλητηρίαση από το CO.

Οι Salicio et al. (2016) ανέλυσαν τα επίπεδα εκπνεόμενου μονοξειδίου του άνθρακα, καρβοξυαιμοσφαιρίνης και των καρδιοπνευμονικών συμπτωμάτων σε 118 ηλικιωμένους που έκαναν γυμναστική στο εξωτερικό περιβάλλον στην πόλη Κουιαμπά της Βραζιλίας. Λήφθηκαν δεδομένα σχετικά με τη χρήση φαρμάκων, το κάπνισμα, τον καρδιακό ρυθμό, το εκπνεόμενο μονοξείδιο του άνθρακα, την καρβοξυαιμοσφαιρίνη, το κλίμα, τον αριθμό των πυρκαγιών στην περιοχή. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τη σχετική υγρασία του αέρα και του αριθμού των πυρκαγιών, των επιπέδων μονοξειδίου του άνθρακα που εκπνέεται και της καρβοξυαιμοσφαιρίνης. Στους ηλικιωμένους, τα επίπεδα του εκπνεόμενου μονοξειδίου του άνθρακα, της καρβοξυαιμοσφαιρίνης και του καρδιακού ρυθμού επηρεάζονται από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Συνεπώς προτάθηκε η χρήση

συσκευής παρακολούθησης μονοξειδίου του άνθρακα για την αξιολόγηση της έκθεσης σε ρύπους.

Σκοπός των Tabian et al. (2021) ήταν να παρουσιάσουν την περίπτωση ενός 80χρονου άνδρα με κινητικά προβλήματα που έχασε τη ζωή του λόγω πυρκαγιάς στον υπαίθριο χώρο από υπολείμματα βλάστησης και οικιακά απορρίμματα στην αυλή του. Αξιολογήθηκε η συγκέντρωση COHb που ήταν σε επίπεδο 73,7% και τη συμβολή τους στον μηχανισμό του θανάτου. Τελικά θεωρήθηκε ότι ο θάνατος ευθυνόταν κυρίως σε δηλητηρίαση από CO και σε σοβαρά εγκαύματα λόγω της πυρκαγιάς σε ανοιχτό χώρο.

Οι Nakamura et al. (2016) συμπεριέλαβαν δύο ηλικιωμένους ασθενείς με γνωστικές διαταραχές, οι οποίοι είχαν αυξημένα επίπεδα COHb. Στις πρώτες τους επισκέψεις στο νοσοκομείο, με βάση τα συμπτώματα της γνωστικής εξασθένησης και τα αποτελέσματα της μαγνητικής τομογραφίας του εγκεφάλου θεωρήθηκε ότι πάσχουν από άνοια τύπου Αλτσχάιμερ. Ωστόσο, μετά τη διακοπή της χρήσης ενός θερμαντήρα που είχε βάση τον άνθρακα, τα επίπεδα καρβοξυαιμοσφαιρίνης στον ορό τους μειώθηκαν και τα σωματικά τους συμπτώματα υποχώρησαν. Επίσης η γνωστική τους λειτουργία παρουσίασε βελτίωση. Συμπερασματικά, είναι πιθανό η χρόνια έκθεση σε χαμηλά επίπεδα CO να συσχετίζεται με την επιδείνωση της κλινικής κατάστασης των ασθενών.

Η μελέτη αυτή των Nazari et al. (2010) εξέτασε την επιδημιολογία της δηλητηρίασης από CO στο Βορειοδυτικό Ιράν μεταξύ των ετών 2003 και 2008. Κατά τη διάρκεια των μελετών καταγράφηκαν συνολικά 3.078 νοσηλείες λόγω δηλητηρίασης από CO, εκ των οποίων οι 346 κατέληξαν σε θάνατο, κυρίως λόγω της χρήσης οικιακών συσκευών αερίου. Η δηλητηρίαση από CO αντιπροσώπευε το 11,6% του συνόλου των περιστατικών δηλητηρίασης. Όσον αφορά τις διαφορές μεταξύ των φύλων, οι άντρες παρουσίασαν υψηλότερα ποσοστά θανατηφόρας δηλητηρίασης σε σχέση με τις γυναίκες. Επιπλέον τα περισσότερα μη θανατηφόρα περιστατικά αφορούσαν ενήλικες ηλικίας 20-49 ετών, ενώ η θνησιμότητα ήταν αυξημένη σε άτομα άνω των 60 ετών. Η μεγαλύτερη συχνότητα τόσο των δηλητηριάσεων όσο και των θανάτων παρατηρήθηκε τον Ιανουάριο. Συνοψίζοντας, η δηλητηρίαση από CO αποτελεί σημαντικό πρόβλημα υγείας στην περιοχή που έγινε η μελέτη, με τους ηλικιωμένους να διατρέχουν υψηλότερο κίνδυνο, ιδιαίτερα κατά την ψυχρή περίοδο και είναι απαραίτητη η ευαισθητοποίηση του κοινού.

4.1.3 CO και εγκυμοσύνη

Η δηλητηρίαση από CO κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης αποτελεί μεγάλο κίνδυνο και μπορεί να προκαλέσει σημαντική βλάβη στο έμβρυο. Οι Zaragoza et al. (2021) ερευνήσαν την περίπτωση μιας γυναίκας, ηλικίας 40 ετών, που βρισκόταν στην 37η εβδομάδα της έβδομης εγκυμοσύνης της. Η ασθενής προσήλθε στο τμήμα επειγόντων περιστατικών λόγω έντονου πονοκεφάλου, εμετού και υψηλής αρτηριακής πίεσης μετά από επιληπτική κρίση. Κατά την εισαγωγή στο νοσοκομείο, η ασθενής συνέχισε να παρουσιάζει τα ίδια συμπτώματα αλλά με φυσιολογική αρτηριακή πίεση. Η καρδιοτοκογραφική καταγραφή έδειξε επιβράδυνση. Τότε ο παιδίατρος ανέφερε ότι η ασθενής έπασχε από οξεία δηλητηρίαση από CO. Με βάση αυτές τις νέες πληροφορίες, έγινε μια σειρά εξετάσεων με τις οποίες επιβεβαιώθηκε η διάγνωση της δηλητηρίασης από CO. Αφού της χορηγήθηκε 100% οξυγόνο η εξέλιξη της μητέρας και του εμβρύου της ήταν ευνοϊκή, τα συμπτώματα της μητέρας εξαφανίστηκαν η καρδιοτοκογραφική καταγραφή ομαλοποιήθηκε. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας, επισήμαναν ότι είναι απαραίτητο να υπάρχει η υποψία δηλητηρίασης από CO για την έγκαιρη διάγνωση και θεραπεία, ιδιαίτερα στις έγκυες γυναίκες, λόγω σοβαρής βλάβης που μπορεί να επέλθει στη μητέρα και το έμβρυο.

Οι Quinn et al. (2016) εξέτασαν τη σχέση της υποβάθμισης της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους που προκαλείται από την καύση βιομάζας με την πρόκληση καρδιαγγειακών νοσημάτων στην πόλη της Γκάνα στη Δυτική Αφρική. Προσδιορίστηκε εάν η έκθεση στο CO από τον καπνό του ξύλου επηρέαζε την αρτηριακή πίεση (BP) σε 817 έγκυες γυναίκες. Οι γυναίκες βρίσκονταν στο πρώτο ή το δεύτερο τρίμηνο της εγκυμοσύνης. Τελικά παρατηρήθηκε μεγάλη συσχέτιση μεταξύ της έκθεσης σε CO και της BP. Με κάθε αύξηση στην έκθεση σε CO κατά 1 ppm συσχετίστηκε με 0,43 mmHg υψηλότερη BP. Παρατηρήθηκε επίσης ότι η έκθεση σε CO τήνει να επηρεάζει και τη συστολική αρτηριακή πίεση (ΣΑΠ). Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης υποδεικνύουν ότι η οικιακή ατμοσφαιρική ρύπανση λόγω θέρμανσης με χρήση ξύλων σχετίζεται με υψηλότερη αρτηριακή πίεση, κυρίως σε έγκυες γυναίκες από τις αρχές έως τα μέσα της κύησης.

Οι Cakir et al. (2009) ανέφεραν μια δυσάρεστη περίπτωση εγκύου που βρέθηκε αναισθητη στο μπάνιο λόγω δηλητηρίασης από CO. Η γυναίκα ήταν 32 ετών και διένυε την 32η εβδομάδα της εγκυμοσύνης της. Κατά την εισαγωγή της στα επείγοντα

παρατηρήθηκε ότι δεν είχε σφυγμό. Το επίπεδο καρβοξυαιμοσφαιρίνης της μητέρας ήταν 57%. Οι γιατροί θεώρησαν απαραίτητο να προχωρήσουν σε καισαρική τομή στο τμήμα επειγόντων περιστατικών. Το επίπεδο της COHb στο αίμα του ομφάλιου λώρου ήταν 32%. Η μητέρα έχασε τη ζωή της. Το μωρό διασωληνώθηκε και παρέμεινε στη μονάδα νεογνών. Μετά από 47 ημέρες πήρε εξιτήριο έχοντας υπέστη εγκεφαλική παράλυση.

Οι Ziaei et al. (2005) αξιολόγησαν σε 41 νεογνά που γεννήθηκαν με καισαρική τις επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από μονοξείδιο του άνθρακα στα επίπεδα COHb. Η μελέτη αφορούσε δυο ομάδες γυναικών. Στην πρώτη ομάδα συμμετείχαν μητέρες που ζούσαν στην περιοχή της Τεχεράνης και ήταν εκτεθειμένες στην ατμοσφαιρική ρύπανση από CO και η δεύτερη ομάδα συμπεριλάμβανε μητέρες που κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης τους, κατοικούσαν έξω από την πόλη. Παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων στα επίπεδα COHb του ομφάλιου λώρου. Τα νεογνά που γεννήθηκαν από μητέρες που ήταν εκτεθειμένες σε υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης CO, είχαν αυξημένο αριθμό συγκέντρωσης COHb σε σχέση με τα νεογνά που οι μητέρες τους ζούσαν σε καθαρό αέρα. Συμπερασματικά η έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση κατά την διάρκεια της εγκυμοσύνης θα πρέπει να αποφεύγεται, γιατί μπορεί να προκαλέσει αρνητικές επιπτώσεις και για τη μητέρα και για το έμβρυο καθώς και μείωση της οξυγόνωσης του εμβρύου.

Οι Bothuynne et al. (2014) αναφέρουν ότι πολλοί θάνατοι εμβρύων στη Γαλλία θα μπορούσαν να αποδοθούν στην τοξικότητα του CO. Στόχος τους ήταν η καταγραφή των υπαρχουσών γνώσεων σχετικά με τη δηλητηρίαση του CO κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης. Το CO προκαλεί υποξία τόσο στους μητρικούς όσο και στους εμβρυϊκούς ιστούς, μέσω της δέσμευσης της αιμοσφαιρίνης με την οποία έχει υψηλή συγγένεια. Η ικανότητά του να διαπερνά τον πλακούντα μπορεί να οδηγήσει σε εμβρυϊκές βλάβες, ιδιαίτερα στον εγκέφαλο. Η σοβαρότητα των επιπτώσεων φαίνεται να συσχετίζεται με την ένταση των μητρικών συμπτωμάτων κατά την έκθεση. Ωστόσο, όταν η μητέρα δεν εμφανίζει συμπτώματα, τα διαθέσιμα δεδομένα δείχνουν πως το έμβρυο δε διατρέχει μεγάλο κίνδυνο. Η χορήγηση οξυγόνου μπορεί να συμβάλει στη μείωση κινδύνου και επιπλοκών. Επίσης, η οξυγονοθεραπεία θα πρέπει να εφαρμόζεται σε όλες τις περιπτώσεις δηλητηρίασης από CO, ιδίως όταν η μητέρα έχει συμπτώματα κατά την έκθεση. Τέλος θα πρέπει να ελέγχεται η κεφαλική ανάπτυξη του εμβρύου, μέσω υπερήχων, τρεις εβδομάδες μετά την έκθεση.

4.1.4 CO και παιδιά

Οι Atitalah et al. (2024) διεξήγαγαν μια έρευνα στην Τυνησία, εστιάζοντας σε περιστατικά δηλητηρίασης από CO στα παιδιά. Η μελέτη είχε ως στόχο να διερευνήσει το επιδημιολογικό προφίλ της δηλητηρίασης από CO. Συλλέχθηκαν δεδομένα από περιπτώσεις δηλητηρίασης σε παιδιά που νοσηλεύτηκαν στο παιδιατρικό του Νοσοκομείου Παίδων της Τύνιδας, μέσα σε τρία έτη. Καταγράφηκαν συνολικά 199 περιστατικά, με ηλικία περίπου τα 5 έτη. Στο 73,2% των περιπτώσεων, η πηγή του CO βρισκόταν εντός της οικίας, με τις θερμάστρες μπάνιου με αέριο να ευθύνονται για το 68,8% των περιστατικών. Η δηλητηρίαση στο 35,8% των περιστατικών σημειώθηκε τον Ιανουάριο. Ο πονοκέφαλος ήταν η συχνότερη κλινική εκδήλωση, εμφανιζόμενος στο 69% των περιπτώσεων. Υψηλά επίπεδα COHb καταγράφηκαν στο 73,9% των παιδιών. Όλοι οι ασθενείς έλαβαν θεραπεία με χορήγηση οξυγόνου. Τέλος δεν καταγράφηκαν θάνατοι κατά τη διάρκεια της μελέτης. Συμπερασματικά η δηλητηρίαση από CO εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό ζήτημα δημόσιας υγείας στην Τυνησία, με υψηλά ποσοστά νοσηρότητας και ο κίνδυνος εμφάνισης νευροψυχιατρικών επιπλοκών καθιστά αναγκαία την παρακολούθηση των ασθενών.

Οι Chang et al. (2017) εξέτασαν παιδιά ηλικίας κάτω των 18 ετών που υπέστησαν δηλητηρίαση από CO λόγω ατυχήματα σε τριτοβάθμιο ιατρικό κέντρο της Ταϊβάν από το 2002 έως το 2010. Ανέλυσαν τα χαρακτηριστικά των περιστατικών και εντόπισαν τους παράγοντες κινδύνου για την εμφάνιση καθυστερημένων νευρολογικών επακόλουθων (DNS) ή μόνιμων νευρολογικών επακόλουθων (PNS). Συνολικά καταγράφηκαν 81 περιστατικά παιδιών με δηλητηρίαση με τον ετήσιο αριθμό κρουσμάτων να αυξάνεται από 5 περιπτώσεις το 2002 σε 20 το 2010, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο). Η πιο κοινή πηγή έκθεσης ήταν τα εσωτερικά συστήματα θέρμανσης (54,3%). Τα πιο συχνά συμπτώματα περιλάμβαναν εμετό (32,1%) και διαταραχές συνείδησης (30,9%). Η δηλητηρίαση από CO αποτελεί μία από τις συχνότερες αιτίες δηλητηρίασης σε ασθενείς και μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική νοσηρότητα και θνησιμότητα. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται για ασθενείς που νοσηλεύονται σε μονάδα εντατικής θεραπείας λόγω παρατεταμένης απώλειας συνείδησης και μηχανικής υποστήριξης. Η μακροχρόνια παρακολούθηση είναι απαραίτητη για την ανίχνευση τόσο

πιθανής εμφάνισης DNS όσο και για την εμφάνιση PNS, όπως επιληψία και γνωστικά ελλείμματα.

Η μελέτη των Wen et al. (2024) εξέτασε παιδιά που νοσηλεύτηκαν στο Νοσοκομείο του Ιατρικού Πανεπιστημίου Guangxi της Κίνας λόγω δηλητηρίασης από CO μεταξύ Ιανουαρίου 2018 και Δεκεμβρίου 2022, εστιάζοντας στα μακροχρόνια νευρολογικά τους συμπτώματα. Οι ερευνητές συνέκριναν τις διαφορές μεταξύ παιδιών με και χωρίς αναπτυξιακές διαταραχές ενώ ανέλυσαν παράγοντες κινδύνου για μακροχρόνια γνωστική δυσλειτουργία σε παιδιά μετά από δηλητηρίαση από CO. Συνολικά, στη μελέτη συμμετείχαν 113 παιδιά, με μέση παρακολούθηση 3,6 ετών. Από αυτά, 13 παιδιά εμφάνισαν γνωστικές δυσλειτουργίες. Η συνηθέστερη αιτία έκθεσης σε CO ήταν η χρήση θερμοσιφώνων αερίου σε μη αεριζόμενα μπάνια (101 περιπτώσεις, 89,4%) , ακολουθούμενη από τη θέρμανση με φωτιά (11 περιπτώσεις, 9,7%). Σε μια περίπτωση, ένα παιδί δηλητηριάστηκε όταν το άφησε ο πατέρας του μέσα σε σταθμευμένο αυτοκίνητο. Οι κυριότερες κλινικές εκδηλώσεις της δηλητηρίασης από CO στα παιδιά περιλάμβαναν διαταραχές συνείδησης (67 περιπτώσεις, 59,3%), ζάλη ή πονοκέφαλος (37 περιπτώσεις, 32,7%) και άλλες εκδηλώσεις όπως ευερεθιστότητα, κλάμα, έμετος, αδυναμία άκρων και συσπάσεις των άκρων, συνολικά 9 περιπτώσεις. Η διάρκεια των διαταραχών συνείδησης σε παιδιά με γνωστικές ανωμαλίες ήταν ως επί το πλείστον περισσότερο από μία ημέρα, με διάμεσο 5 ημέρες και ο χρόνος νοσηλείας ήταν μεγαλύτερος. Η πιο κοινή απεικονιστική αλλαγή μετά από δηλητηρίαση με CO στα παιδιά ήταν το εγκεφαλικό οίδημα. Επιπλέον τα παιδιά με γνωστική εξασθένηση εμφάνισαν μεγαλύτερη πιθανότητα επιληψίας και άλλες βλάβες σε συστήματα του οργανισμού κατά τη διάρκεια της νοσηλείας, συμπεριλαμβανομένης της πνευμονικής λοίμωξης (3 περιπτώσεις), της αγγωτικής γαστρεντερικής αιμορραγίας (2 περιπτώσεις), της ηλεκτρολυτικής ανισορροπίας (2 περιπτώσεις), της δυσλειτουργίας του ήπατος ή του νεφρού μου σε ορισμένα παιδιά (3 περιπτώσεις). Τέλος, όσον αφορά τα παιδιά που δεν είχαν τις αισθήσεις τους για περισσότερο από μία ημέρα, θα πρέπει να γίνεται μακροχρόνια παρακολούθηση για να εντοπιστεί εάν εμφανίζεται καθυστερημένη εγκεφαλοπάθεια ή επακόλουθη γνωστική δυσλειτουργία.

4.1.5 CO και καπνιστές

Το κάπνισμα αποτελεί την κύρια αιτία θανάτου που μπορεί να προληφθεί παγκοσμίως, καθώς και έναν σημαντικό παράγοντα κινδύνου για πολλές μη μεταδοτικές ασθένειες. Το κάπνισμα έχει τόσο οξείες όσο και χρόνιες συνέπειες. Οι Herath et al. (2021) διερεύνησαν τον αντίκτυπο της έντασης του καπνίσματος στα επίπεδα του εκπνεόμενου CO (eCO) της COHb και στις αιματολογικές τιμές. Η έρευνα λάμβανε χώρα στην περιοχή Colombo στη Σρι Λάνκα όπου συμμετείχαν 360 άντρες που κάπνιζαν καθημερινά και 180 άντρες μη καπνιστές. Αφού έγινε μέτρηση του eCO και τις COHb και στις δυο ομάδες, τα αποτελέσματα των καπνιστών συγκρίθηκαν με των μη καπνιστών. Όπως ήταν αναμενόμενο οι καπνιστές εμφάνισαν σημαντικά υψηλότερα επίπεδα eCO και COHb, καθώς και οι τιμές Hb και του αιματοκρίτη, ήταν αυξημένες. Βρέθηκε ότι τα αύξηση αυτών των τιμών σχετιζόντουσαν με τον αριθμό των τσιγάρων που καπνίζονταν ημερησίως και τη διάρκεια του καπνίσματος. Συνεπώς μπορεί να γίνει εκτίμηση της σοβαρότητας μέσω των επιπέδων eCO και COHb στην αναπνοή καθώς αυτές οι παράμετροι συνδέονται με την ένταση του καπνίσματος. Επιπλέον, η μακροχρόνια έκθεση στο κάπνισμα, ακόμη και σε μικρές ποσότητες επηρεάζει τις αιματολογικές εξετάσεις των καπνιστών.

Το κάπνισμα αποτελεί σημαντικό παράγοντα κινδύνου για την ανάπτυξη στεφανιαίας νόσου. Σύμφωνα με τους Khalimova et al. (2025) ο κύριος παράγοντας που συμβάλλει στην ανάπτυξη στεφανιαίας νόσου λόγω του καπνίσματος είναι το CO. Η νικοτίνη αυξάνει την αρτηριακή πίεση και τον καρδιακό ρυθμό, ενώ το CO προκαλεί καρδιακή ανεπάρκεια, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε έμφραγμα του μυοκαρδίου, λόγω περιορισμένης παροχής αίματος. Το κάπνισμα δεν βλάπτει μόνο την υγεία του καπνιστή, αλλά και των γύρων του, καθώς οι άνθρωποι που βρίσκονται κοντά του εκτίθενται στον καπνό, έχοντας συνέπειες στην υγεία τους. Η παρατεταμένη έκθεση σε καπνό σε εσωτερικούς χώρους μπορεί να προκαλέσει ζάλη, ναυτία, εμετό, βήχα, ερεθισμό των ματιών και του λαιμού και αλλεργικές αντιδράσεις. Ο καπνός του τσιγάρου μπορεί να προκαλέσει τις ίδιες ασθένειες στους καπνιστές με τους παθητικούς καπνιστές.

Εκτός από τις εγκύους, τους ηλικιωμένους και τα παιδιά, μεγάλο κίνδυνο δηλητηρίασης από CO διατρέχουν και οι καπνιστές, αφού εκτίθενται καθημερινά σε μεγάλες συγκεντρώσεις CO. Με βάση τα ερήματα τους, οι Dorey et al. (2019) ανέφεραν ότι τα επίπεδα COHb στους καπνιστές τσιγάρων κυμαίνονται γενικά από 4,2% πριν να

καπνίσουν έως 8,6% αφού καπνίσουν. Μια περίπτωση ενός καπνιστή που παρουσιάστηκε δύο φορές στο νοσοκομείο, έχοντας συμπτώματα δηλητηρίασης από CO, βρέθηκε ότι είχε επίπεδα COHb από 21,8 έως 24,2%. Επιπλέον οι καπνιστές πούρων έχουν επίπεδα COHb που κυμαίνονται από 13,0 έως 38,6%. Οι καπνιστές ναργιλέ έχουν γενικά επίπεδα COHb 10,1% ενώ σε κάποια περιστατικά έχουν παρατηρηθεί ακόμη υψηλότερα επίπεδα τα οποία σχετίζονται με συμπτώματα τοξικότητας CO. Οι καπνιστές ναργιλέ έχουν επίπεδα COHb έως και 39,2% μετά το κάπνισμα. Σε άτομα με ισχαιμική καρδιοπάθεια, ακόμη και με χαμηλότερα επίπεδα COHb (1-9%) μπορεί να εμφανίσουν πόνο στο στήθος και μειωμένη αντοχή κατά την άσκηση. (Bleecker, 2015).

Σε μελέτη των Maga et al. (2017), βρέθηκε ότι τα επίπεδα CO στον εκπνεόμενο αέρα ήταν σημαντικά υψηλότερα στους καπνιστές σε σχέση με τους μη καπνιστές. Επιπλέον, ακόμα και μη καπνιστές που διέμεναν σε μεγάλες πόλεις είχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις CO από εκείνους που ζούσαν σε μικρότερες κωμοπόλεις, γεγονός που αναδεικνύει τον ρόλο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ως συμπληρωματικό παράγοντα έκθεσης.

Η δηλητηρίαση από CO εξαρτάται από την ποσότητα του καπνίσματος και ευθύνεται για καρδιαγγειακές επιπλοκές. Η εξάρτηση από τη νικοτίνη αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα αποτυχίας διακοπής του καπνίσματος. Οι La Fauci et al. (2012) ανέλυσαν την κατανάλωση καπνού και αξιολόγησαν το βαθμό εξάρτησης από τη νικοτίνη. Χρησιμοποιήθηκαν ερωτηματολόγια και έγιναν μετρήσεις CO στον εκπνεόμενο αέρα των καπνιστών που συμμετείχαν σε συνεδρίες που πραγματοποιήθηκαν σε δημόσιους χώρους, στην πόλη του Μοναστηρίου στην Τυνησία με στόχο τη διακοπή καπνίσματος. Συνολικά 914 καπνιστές συμμετείχαν στη μελέτη με μέση ηλικία $29,5 \pm 12,4$ έτη. Περισσότεροι από το 2/3 των συμμετεχόντων παρουσίασαν έντονη εξάρτηση από τη νικοτίνη. Οι καπνιστές που κατανάλωναν πάνω από 20 τσιγάρα ημερησίως αποτελούσαν το 28% των ατόμων και ήταν ηλικίας κάτω των 30 ετών και το 59% των ατόμων ήταν μεγαλύτερης ηλικίας και λιγότερο εξαρτημένοι. Σημαντικοί παράγοντες για την έντονη εξάρτηση ήταν η ηλικία έναρξης του καπνίσματος, η διάρκεια του καπνίσματος, η κατανάλωση αλκοόλ, η καθιστική ζωή και η συγκέντρωση του CO στον αέρα. Η μέση συγκέντρωση CO στον εκπνεόμενο αέρα ήταν $13,1 \pm 11,1$ ppm. Η μελέτη αυτή λοιπόν ανέφερε τους κυριότερους παράγοντες που συμβάλουν στην εξάρτηση από

το κάπνισμα και τόνισε την ανάγκη να ενισχυθούν οι προσπάθειες εφαρμογής των κανονισμών του ΠΟΥ για τον έλεγχο του καπνού στην Τυνησία.

Το κάπνισμα και η έκθεση στο κάπνισμα εξακολουθούν να αποτελούν σημαντικό ζήτημα δημόσιας υγείας, ακόμη και μεταξύ αθλητών. Οι Asar et al. (2025) αξιολόγησαν τα άτομα που ήταν καπνιστές και τα άτομα που ήταν εκτεθειμένοι καθημερινά στο παθητικό κάπνισμα, μέσω της μέτρησης των επιπέδων νικοτίνης και της μέτρησης του CO στον εκπνεόμενο αέρα. Η μελέτη περιελάμβανε αθλητές που επισκέφθηκαν το εξωτερικό ιατρείο αθλητριάτικης ενός νοσοκομείου στην Τουρκία. Οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο σχετικά με τις καπνιστικές τους συνήθειες καθώς και την έκθεση σε παθητικό κάπνισμα. Συνολικά συμμετείχαν 421 αθλητές με ηλικία περίπου τα 18 έτη. Το 29,9% των αθλητών ανέφερε ότι είναι καπνιστές. Τα επίπεδα νικοτίνης στους καπνιστές ήταν 22,9 ng/ mL ενώ στους παθητικούς καπνιστές 17,4 ng/mL, με τα επίπεδα συγκέντρωσης CO στους καπνιστές να ανέρχονται στα 5 ppm. Τα ευρήματα αυτά έδειξαν ότι τα άτομα που δεν είναι καπνιστές, αλλά εκτίθενται στον καπνό του τσιγάρου λόγω των καπνιστών που υπάρχουν γύρω τους, διατρέχουν εξίσου μεγάλο κίνδυνο, αφού το ποσοστό νικοτίνης που ανιχνεύτηκε στο αίμα τους, είναι αυξημένο. Παρά τα μέτρα για τον περιορισμό της χρήσης καπνού στην Τουρκία, τόσο οι αθλητές που καπνίζουν όσο και η μη καπνιστές αντιμετωπίζουν προβλήματα υγείας λόγω της έκθεσης τους στον καπνό.

4.1.7 Μηχανισμός CO ως θεραπευτικός παράγοντας

Το CO εκτός από τη μεγάλη τοξικότητα μπορεί να έχει ενεργητικό ρόλο στην υγεία, αν χορηγείται σε συγκεκριμένες ποσότητες. Οι Fan et al. (2024) απέδειξαν ότι το CO βοηθάει στη διαστολή των αιμοφόρων αγγείων, μειώνει τη φλεγμονή, καταπολεμά τον καρκίνο και καθυστερεί τον προγραμματισμένο θάνατο των κυττάρων. Ωστόσο, η χρήση του CO ως θεραπευτικού παράγοντα έχει περιορισμούς, λόγω της μικρής του παραμονής στον οργανισμό, της δυσκολίας μεταφοράς του και της ανάγκης για διατήρηση των συγκεντρώσεων του.

Ομοίως και οι Penney et al. (2010), τόνισαν ότι το CO, εκτός από περιβαλλοντικός ρύπος μπορεί να παραχθεί και ενδογενώς. Έχουν δημιουργηθεί φυσιολογικοί μηχανισμοί για να ισορροπήσουν την παρουσία του στο αίμα και στους

ιστούς των θηλαστικών. Στην περίπτωση οξέων εκθέσεων, καθώς αυξάνεται το επίπεδο COHb, παρατηρείται ανάλογη αύξηση στη ροή του αρτηριακού αίματος προς τον εγκέφαλο, δηλαδή παρά την μειωμένη περιεκτικότητα σε οξυγόνο στο αίμα, ο αυξημένος όγκος αίματος στους υγιείς ανθρώπους βοηθά στη διατήρηση της ποσότητας οξυγόνου που φτάνει στον εγκέφαλο, αποτρέποντας έτσι την υποξία. Ο μεταβολισμός του εγκεφαλικού ιστού παραμένει σταθερός μέχρι το επίπεδο COHb να φτάσει το 20%. Αυτό το γεγονός δείχνει ότι η υποξία του εγκεφαλικού ιστού δεν συμβαίνει όταν τα επίπεδα COHb είναι χαμηλότερα. Αυτή η αντισταθμιστική διαδικασία παρατηρείται επίσης σε νεογνά και έμβρυα. Στις χρόνιες εκθέσεις στο CO, ο όγκος των ερυθρών αιμοσφαιρίων αυξάνεται ή ο όγκος του πλάσματος μειώνεται, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση της ποσότητας οξυγόνου που μπορεί να μεταφερθεί.

5 Επιδράσεις CO στην υγεία

Η δηλητηρίαση από CO θεωρείται από τις πιο συχνές μορφές δηλητηρίασης παγκοσμίως, τόσο στο οικιακό όσο και στο επαγγελματικό περιβάλλον. Στην καθημερινή ζωή, οι βασικότερες αιτίες περιλαμβάνουν τις πυρκαγιές,, τα ελαττωματικά συστήματα θέρμανσης και και τυχόν επιβλαβή υλικά μαγειρέματος . Στους εργασιακούς χώρους, ο κίνδυνος αυξάνεται όταν μηχανήματα που παράγουν CO λειτουργούν σε κλειστούς χώρους ή ανεπαρκώς αεριζόμενους. Η έκθεση μπορεί να συμβεί είτε μετά από παρατεταμένη εισπνοή μικρών ποσοτήτων αερίου, και είτε λόγω σύντομης επαφής σε υψηλές συγκεντρώσεις. Παρά τις νομοθετημένες τιμές ορίου και την εφαρμογή αυστηρών μέτρων ασφαλείας, όπως οι ανιχνευτές του CO κάθε χρόνο περίπου 50.000 άνθρωποι στις Ηνωμένες Πολιτείες προσέρχονται στα επείγοντα λόγω δηλητηρίασης από CO. Οι περισσότερες από αυτές τις περιπτώσεις καταγράφονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα, λόγω διασύνδεσής τους με κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες και την έλλειψη κεντρικής θέρμανσης σε φτωχότερα νοικοκυριά. Χαρακτηριστικό της οικιακής έκθεσης είναι ότι επηρεάζει περισσότερα από ένα μέλη της ίδιας οικογένειας. Η συνύπαρξη πολλών περιστατικών με κοινά συμπτώματα σε ένα σπίτι ή χώρο θα πρέπει να κινεί άμεσα την υποψία για δηλητηρίαση από CO. Επιπλέον στις ΗΠΑ η συγκεκριμένη αιτία ευθύνεται για περίπου 500 θανάτους ετησίως. Παρόλο που το πρόβλημα είναι γνωστό εδώ και αιώνες και οι μηχανισμοί τοξικότητας έχουν περιγραφεί, η έγκαιρη αναγνώριση και η κατάλληλη αντιμετώπιση εξακολουθούν να αποτελούν πρόκληση για την ιατρική κοινότητα. Η αποτελεσματική διαχείριση προϋποθέτει μια καλά οργανωμένη προσέγγιση τόσο στη διάγνωση όσο και στη θεραπεία, ενώ η παρακολούθηση των ασθενών μετά την έκθεση είναι εξίσου σημαντική για την ανίχνευση πιθανών επιπλοκών. Στα επείγοντα, η διάγνωση μπορεί να καθυστερήσει λόγω της ομοιότητας των συμπτωμάτων με άλλες, πιο συχνές παθολογικές καταστάσεις. Τα τελευταία 30 χρόνια, η επιστημονική κατανόηση γύρω από την τοξικότητα του CO έχει εμπλουτιστεί σημαντικά, αποκαλύπτοντας νέες πτυχές της φυσιολογικής του σημασίας στους ζωικούς οργανισμούς. Βάσει αυτών των νέων δεδομένων, είναι απαραίτητο να επανεξεταστεί η παθογένεια του CO, το οποίο δεν αποτελεί αποκλειστικά έναν τοξικό παράγοντα. Η αναθεώρηση αυτής της αντίληψης, ιδιαίτερα σε ότι αφορά τη θεραπευτική προσέγγιση και τη μακροπρόθεσμη

παρακολούθηση, είναι ζωτικής σημασίας, ενώ οι μελλοντικές έρευνες οφείλουν να εστιάσουν σε αυτή τη νέα οπτική (Savioli, G., et al., 2024).

Λόγω του αυξημένο μεταβολικού τους ρυθμού, ο εγκέφαλος και η καρδιά είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στην τοξική δράση του CO. Τα συμπτώματα της δηλητηρίασης από CO δεν είναι συγκεκριμένα, γεγονός που τα καθιστά δύσκολα στη διάγνωση, καθώς μπορούν να μοιάζουν με πολλές άλλες παθολογικές καταστάσεις. Η σοβαρότητα των εκδηλώσεων κυμαίνεται από ήπιες ενοχλήσεις που θυμίζουν γρίπη έως κώμα ή ακόμη και θάνατο. Μπορούν να εμφανιστούν και στο πρώτο δωρο μετά την έκθεση. Περίπου οι μισοί από όσους εκτίθενται στο CO εμφανίζουν συμπτώματα όπως αδυναμία, ναυτία, σύγχυση και δύσπνοια. Σε λιγότερες περιπτώσεις οι ασθενείς μπορεί να πάσχουν από κοιλιακό πόνο, διαταραχές της όρασης απώλεια συνείδησης και θωρακικό άλγος. Οι αντιδράσεις του οργανισμού στην υποξία εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την κατάσταση του ασθενή. Άτομα με προϋπάρχουσες καρδιακές ή πνευμονικές παθήσεις παρουσιάζουν μειωμένη αντοχή, ακόμη και σε χαμηλά επίπεδα υποξίας. Η ανεπαρκής οξυγόνωση προκαλεί αύξηση της ενδοκρανιακής πίεσης και εγκεφαλικό οίδημα, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση του επιπέδου συνείδησης, στην εμφάνιση σπασμών ή ακόμα και κώματος. Το χαρακτηριστικό ερυθρό χρώμα του δέρματος, καθώς και η κυάνωση, σπάνια εντοπίζονται κλινικά. Επιπλέον έχουν αναφερθεί διάφοροι βαθμοί γνωστικής δυσλειτουργίας (Prokop et al., 2007).

5.1.1 Επιδράσεις CO στο αναπνευστικό σύστημα

Από το 2013 έως το 2019 πραγματοποιήθηκε στο Λατζού της Κίνας από τους Liu et al. (2023) μια μελέτη με στόχο την εκτίμηση των καθημερινών εισαγωγών στα νοσοκομεία, λόγω αναπνευστικών προβλημάτων, που συνδέονταν με την έκθεση στο CO. Συγκεκριμένα, συλλέχτηκαν ημερήσια στοιχεία για τις επισκέψεις εξωτερικών ασθενών, τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και τις καιρικές μεταβολές από την 1η Ιανουαρίου 2013 έως τις 31 Δεκεμβρίου 2019. Οι ερευνητές αξιολόγησαν τη συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης του CO στο περιβάλλον και των επισκέψεων εξωτερικών ασθενών για αναπνευστικές ασθένειες (Respiratory Disease, RD). Στις αναλύσεις υποομάδων ασθενών οι επιπτώσεις του CO ήταν πιο έντονες στη συνολική RD, την πνευμονία, τη ΧΑΠ και τη βρογχίτιδα στους άνδρες από ό,τι στις γυναίκες, ενώ το

αντίθετο ίσχυε για την λοίμωξη του ανώτερου αναπνευστικού (Upper Respiratory Tract Infection- URTI) και το άσθμα. Ο αντίκτυπος του CO στην RD ήταν ο ισχυρότερος για τα παιδιά ηλικίας κάτω των 15 ετών. Διαπιστώθηκαν επίσης σημαντικά ισχυρότερες επιδράσεις κατά τη διάρκεια των ψυχρών εποχών σε σύγκριση με τις θερμές εποχές. Αυτή η μελέτη στη Λατζού ανέδειξε μια αξιοσημείωτη συσχέτιση μεταξύ των επιπέδων CO και του αυξημένου κινδύνου επισκέψεων στα εξωτερικά ιατρεία για αναπνευστικές ασθένειες, κυρίως πνευμονία.

Οι Song et al. (2023) πραγματοποίησαν μια αναδρομική μελέτη στην πόλη Γκαντζού της Κίνας για την περίοδο Ιανουάριος 2016 – Δεκέμβριος 2020, με στόχο την ανάλυση της σχέσης μεταξύ της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και των ημερήσιων νοσηλειών λόγω αναπνευστικών παθήσεων.

Η μελέτη ανέλυσε δεδομένα για: 72.430 περιστατικά νοσηλείας, την καθημερινή συγκέντρωση CO (mg/m³), άλλους ρύπους (π.χ. PM2.5, NO₂) και μετεωρολογικούς παράγοντες (θερμοκρασία, υγρασία).

Αναπνευστική Νόσος	Αύξηση Νοσηλειών
Συνολικές αναπνευστικές παθήσεις	13,56%
Ασθμα	17,74%
Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ)	14,83%
Λοιμώξεις κατώτερου αναπνευστικού (LRTI)	13,50%
Γρίπη και Πνευμονία	13,50%
Λοιμώξεις ανώτερου αναπνευστικού (URTI)	11,21%

Η συσχέτιση CO – νοσηλειών ήταν ισχυρότερη στη θερμή περίοδο (άνοιξη–καλοκαίρι) σε σχέση με τον χειμώνα.

Για παράδειγμα, η επίδραση του CO στη γρίπη και πνευμονία ήταν σημαντικά αυξημένη τους θερμούς μήνες — πιθανόν λόγω αυξημένης φωτοχημικής δραστηριότητας και επιβάρυνσης της αναπνευστικής λειτουργίας από άλλους ρύπους.

Θερμή περίοδος: +15,2% αύξηση (εκτιμώμενο)

Ψυχρή περίοδος: +9,4% αύξηση (εκτιμώμενο)

Γυναίκες παρουσίασαν ισχυρότερη συσχέτιση μεταξύ έκθεσης σε CO και νοσηλείας:

Για άσθμα, η αύξηση για τις γυναίκες ήταν +19,2%, σε σύγκριση με +15,4% για τους άνδρες.

Για LRTI, οι γυναίκες εμφάνισαν +14,1%, ενώ οι άνδρες +12,3%.

Άλλη μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2016 στην Τανζανία από τους Zoller et al. (2022) εστίασε στα συμπτώματα των ασθενών που είχαν σχέση με την αναπνευστική υγεία και τη δηλητηρίαση από CO. Παρά το γεγονός ότι τα δεδομένα για τη δηλητηρίαση από CO ήταν περιορισμένα στην υποσαχάρια Αφρική, τα διαθέσιμα στοιχεία αφορούσαν κυρίως τη συγκέντρωση του CO στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η μελέτη, η οποία εξέτασε την υγεία των πνευμόνων, έλαβε χώρα σε εξωτερικούς ασθενείς και επισκέπτες αστικών και αγροτικών νοσοκομείων στην Τανζανία. Η ανάλυση εστίασε στα αναπνευστικά συμπτώματα. Ο κορεσμός του περιφερειακού αίματος με CO (SpCO) μετρήθηκε διαδερμικά και μη επεμβατικά στους ασθενείς, χρησιμοποιώντας ένα τροποποιημένο παλμικό οξύμετρο για να προσδιοριστεί η δηλητηρίαση από CO. Συνολικά, 997 άτομα συμμετείχαν στην έρευνα, με μέση ηλικία 46 ετών (49% άνδρες). Το 38% του συνόλου ανέφερε κάποια μορφή χρόνιας δύσπνοιας, ενώ το 26% δήλωσε ότι οι καθημερινές του δραστηριότητες ή η εργασία του περιορίζονταν λόγω αυτού του συμπτώματος. Αυτή η μελέτη, με τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν, πρόσφερε σημαντικές πληροφορίες για τη σχέση του CO με τα αναπνευστικά προβλήματα στην περιοχή. Οι συμμετέχοντες που μαγείρευαν με αέριο ή ηλεκτρικό ρεύμα είχαν το χαμηλότερο SpCO, ενώ οι συμμετέχοντες που χρησιμοποιούσαν κάρβουνο για να μαγειρέψουν (μέσος όρος 7%) κινδύνευαν περισσότερο από αυτούς που δεν το χρησιμοποιούσαν. Το μαγείρεμα με ξύλα, ιδιαίτερα με τη χρήση σόμπας, είχε ως αποτέλεσμα το υψηλότερο SpCO (μέσος όρος 11,5%). Οι συμμετέχοντες από νοικοκυριά όπου το μαγείρεμα γινόταν σε ξεχωριστό δωμάτιο είχαν το χαμηλότερο SpCO σε σύγκριση με συμμετέχοντες από νοικοκυριά όπου το μαγείρεμα γινόταν έξω ή σε κοινόχρηστο δωμάτιο μέσα (6% έναντι 9% και 10,5%), αντίστοιχα. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το μαγείρεμα σε ξεχωριστό δωμάτιο (σε σύγκριση με το μαγείρεμα έξω) ήταν προστατευτικοί παράγοντες έναντι του υψηλού SpCO. Τα ευρήματα της μελέτης απέδειξαν επίσης υψηλή εμφάνιση χρόνιων αναπνευστικών συμπτωμάτων

έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κοινωνικοοικονομικών προβλημάτων και ότι τα υψηλά επίπεδα SpCO υποδηλώνουν σχετική επιβάρυνση από δηλητηρίαση από CO στον τοπικό πληθυσμό. Η μελέτη υπογράμμισε ότι το επίπεδο του CO στο αίμα εξαρτάται περισσότερο από την κοινή έκθεση του ατόμου σε πηγές CO, με τον χώρο και τον τύπο του καυσίμου μαγειρέματος να θεωρούνται ως οι πιο σημαντικοί παράγοντες.

Οι Lawin et al. (2018) περιέγραψαν μια μελέτη που είχε ως στόχο την αξιολόγηση της αναπνευστικής υγείας των μοτοσικλετιστών και οδηγών ταξί, οι οποίοι ήταν εκτεθειμένοι καθημερινά στο CO από εξωτερικές πηγές. Η μελέτη αφορούσε 85 άτομα τα οποία εργαζόντουσαν τουλάχιστον 5 χρόνια σαν οδηγοί ταξί στο Μπενίν της Αφρικής. Το CO μετρήθηκε στο κάθε άτομο με φορητό καταγραφικό δεδομένων CO για 8 ώρες την ημέρα κατά τις ώρες εργασίας. Οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, εκείνες με έκθεση σε συγκέντρωση CO μεγαλύτερη από 9 ppm και σε συγκέντρωση CO μικρότερη ή ίση από 9 ppm. Η ανάλυση έγινε χρησιμοποιώντας δεδομένα για αυτές τις δύο ομάδες. Οι οδηγοί με έκθεση σε CO πάνω από 9 ppm είχαν πιο σημαντικά αναπνευστικά συμπτώματα σε σύγκριση με την λιγότερο εκτεθειμένη ομάδα. Ως εκ τούτου, απαιτείται η λήψη μέτρων ώστε βελτιωθεί η ποιότητα του αέρα για την προστασία των εργαζομένων που εκτίθενται λόγω του επαγγέλματός τους στην εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση.

Οι πυρκαγιές, συμπεριλαμβανομένων των δασικών πυρκαγιών και των πυρκαγιών σε άλλες πεδινές τοποθεσίες έχουν γίνει ολοένα και πιο συχνές, λόγω της κλιματικής αλλαγής και των περιβαλλοντικών παραγόντων, θέτοντας σημαντικές προκλήσεις τόσο για τα οικοσυστήματα όσο και για τη δημόσια υγεία. Στην ανασκόπησή τους, οι Weheba et al. (2024) διερεύνησαν τη σύνδεση ανάμεσα στις πυρκαγιές και την εμφάνιση αναπνευστικών νοσημάτων σε άτομα που εργάζονται σε εξωτερικούς χώρους όπως οι πυροσβέστες. Εκτός από τα αναμενόμενα προβλήματα όπως οι θερμικοί τραυματισμοί του αναπνευστικού και η δηλητηρίαση από CO, εντοπίστηκαν συσχετίσεις μεταξύ της έκθεσης σε πυρκαγιές και διαφόρων επιπτώσεων στο ανώτερο και κατώτερο αναπνευστικό σύστημα, όπως λοιμώξεις, άσθμα και χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ).

Μάλιστα, ορισμένες έρευνες υποδεικνύουν αυξημένο κίνδυνο για νέα περιστατικά άσθματος μεταξύ των πυροσβεστών. Δεδομένου ότι οι εργαζόμενοι

εξωτερικών χώρων είναι συχνά περισσότερο εκτεθειμένοι στο CO αντιμετωπίζουν αυξημένο κίνδυνο αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία τους.

5.1.2 Επιδράσεις CO στο νευρικό σύστημα

Σύμφωνα με τους Raub και Benignus (2002) η επίδραση της δηλητηρίασης από το CO στο κεντρικό νευρικό σύστημα διαμορφώνεται ανάλογα με το επίπεδο της έκθεσης. Τα συμπτώματα μπορεί να κυμαίνονται από πονοκέφαλο, ζάλη, αδυναμία, ναυτία, εμετό, έως αποπροσανατολισμό, σύγχυση, κατάρρευση και κώμα. Η έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις ενδέχεται να προκαλέσει εξασθένηση της οπτικής οξύτητας, μείωση της ικανότητας μάθησης, δυσκολίες στην οδήγηση και προβλήματα συγκέντρωσης. Προγενέστερη έρευνα (Raub & Benignus, 2002) έχει υποστηρίξει την άποψη ότι το CO μπορεί να αυξήσει τα επίπεδα καρβοξυαιμοσφαιρίνης (COHb) έως περίπου 5%, ποσότητα ικανή να μειώσει την οπτική ευαισθησία και να επηρεάσει τη νευροσυμπεριφορική λειτουργία.

Οι Savioli et al. (2024) σημείωσαν ότι η αυξημένη έκθεση στο CO μπορεί να οδηγήσει σε άλλα νευρολογικά συμπτώματα όπως αλλαγές στην ψυχική κατάσταση, σύγχυση, συγκοπή και σπασμούς, ακόμη και οξέα σύνδρομα παρόμοια με το εγκεφαλικό επεισόδιο και το κώμα. Οι μεμονωμένες κρίσεις είναι πολύ συχνές στα παιδιά ενώ άλλα νευρολογικά συμπτώματα εμφανίζονται πιο διακριτικά. Επιπλέον, η παρουσία συστηματικής υπότασης κατά τη διάρκεια δηλητηρίασης από CO σχετίζεται με τη σοβαρότητα τραυματισμού του κεντρικού νευρικού συστήματος. Συγκεκριμένα, πειράματα σε πιθήκους rhesus έδειξαν ότι η έκθεση σε αέρα περιεκτικότητας % κατ' όγκο (v/v) 0,1% έως 0,3% σε CO για 75-325 λεπτά είχε ως αποτέλεσμα ποικίλες επιδράσεις στο κεντρικό νευρικό σύστημα, όπως, παράλυση άκρων, αλλαγές στον μυϊκό τόνο, κώφωση και τύφλωση. Σημειώθηκαν επίσης βλάβες της ωχρής σφαίρας και του ιππόκαμπου.

Μέσα από μια διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε από τους Rhee et al. (2021) χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τη Νότια Κορέα, από τον Ιανουάριο του 2012 μέχρι το Δεκέμβριο του 2018 για να αναλυθούν οι επιπτώσεις στο νευρικό σύστημα σε επιζώντες από δηλητηρίαση, μετά από έκθεση στο CO. Για όλες τις παθήσεις του νευρικού συστήματος διερευνήθηκε η συχνότητα, το πρότυπο εμφάνισης, η εισαγωγή σε μονάδα

εντατικής, για να γίνει εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης παθήσεων του νευρικού συστήματος μετά από δηλητηρίαση με CO. Τα αποτελέσματα από 26.778 ασθενείς έδειξαν ότι οι 18.720 από αυτούς (69,9%) διαγνώστηκαν με νευρικό σύνδρομο μετά από δηλητηρίαση από CO. Η πιο συχνή νόσος ήταν οι διαταραχές της έναρξης και της διατήρησης του ύπνου, ακολουθούμενη από την κεφαλαλγία και την ανοξική εγκεφαλική βλάβη. Πάνω από τις μισές παθήσεις του νευρικού συστήματος εμφανίστηκαν εντός του πρώτου έτους μετά τη δηλητηρίαση από CO. Το συμπέρασμα ήταν ότι οι ασθενείς που υπέστησαν δηλητηρίαση από CO διέτρεχαν υψηλότερο κίνδυνο εκδήλωσης διαφόρων παθήσεων του νευρικού συστήματος. Ως εκ τούτου, η παρακολούθηση για συγκεκριμένες ασθένειες του νευρικού συστήματος είναι σημαντική μετά από δηλητηρίαση με CO εντός του πρώτου έτους.

Σύμφωνα με τους Xiong et al. (2025), η δηλητηρίαση από CO συνδέεται κυρίως με την πρόκληση εγκεφαλικών βλαβών. Ο μηχανισμός μέσω του οποίου προκαλείται η άμεση εγκεφαλική βλάβη είναι ιδιαίτερα σύνθετος και περιλαμβάνει παράγοντες όπως η υποξία, η διαταραχή στον ενεργειακό μεταβολισμό, η δυσλειτουργία της μιτοχονδριακής αναπνοής, το οξειδωτικό στρες, η φλεγμονή και οι αυτοάνοσες αντιδράσεις. Σύμφωνα με αυτήν την έρευνα η εντερική μικροχλωρίδα και τα προϊόντα γονιδιακής έκφρασης αλληλεπιδρούν άμεσα στον εγκέφαλο, ανταλλάσσοντας πληροφορίες. Η διαταραχή αυτής της ισορροπίας συνδέεται με την εμφάνιση νευρολογικών διαταραχών. Το CO διαταράσσει τη μικροχλωρίδα του εντέρου, επηρεάζοντας τόσο το νευροενδοκρινικό, όσο το ανοσοποιητικό και το νευρικό σύστημα.

Το κεντρικό νευρικό σύστημα είναι η πιο ευάλωτη δομή στην οξεία δηλητηρίαση από CO. Η μαγνητική τομογραφία έχει μεγάλη σημασία για τη διάγνωση και την πρόγνωση της τοξικής εγκεφαλοπάθειας από CO. Οι Li et al. (2024) αναφέρθηκαν σε τέσσερις ασθενείς που παρουσιάστηκαν στο τμήμα επειγόντων περιστατικών λόγω απώλειας συνείδησης. Η διάγνωση της δηλητηρίασης από CO επιβεβαιώθηκε με βάση το λεπτομερές ιστορικό, τη φυσική εξέταση και τις εργαστηριακές εξετάσεις. Τα αποτελέσματα και των τεσσάρων ασθενών ήταν αρνητικά ως προς τη δηλητηρίαση, επειδή η μαγνητική τομογραφία εγκεφάλου σε όλους αυτούς τους ασθενείς αποκάλυψε μη φυσιολογική ένταση σήματος στον ιπόκαμπο (βρίσκεται στον εγκέφαλο και είναι υπεύθυνος για τη μνήμη και τη μάθηση). Ο ιπόκαμπος, είναι μια σχετικά σπάνια βλάβη

της δηλητηρίασης από CO, είναι σημαντικής σημασίας τόσο στα πρώιμα όσο και στα όψιμα στάδια της οξείας δηλητηρίασης από CO.

5.1.3 Επιδράσεις CO στο καρδιαγγειακό σύστημα

Στόχος της μελέτης που διεξάχθηκε από τους Taheri et al. (2023) ήταν να αξιολογηθούν οι βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της έκθεσης σε CO με βάση τις καθημερινές εισαγωγές στα νοσοκομεία λόγω καρδιαγγειακής νόσου. Συλλέχθηκαν δεδομένα για τις καθημερινές εισαγωγές σε νοσοκομεία στο Ισφαχάν του Ιράν από τον Μάρτιο του 2010 έως τον Μάρτιο του 2012. Οι μέσες συγκεντρώσεις CO σε διάστημα 24 ωρών συγκεντρώθηκαν από τέσσερις τοπικούς σταθμούς παρακολούθησης. Διεξήχθη επίσης ανάλυση για ηλικιακές ομάδες (18–64 και ≥ 65 ετών), το φύλο και τις εποχές. Η μελέτη συμπεριέλαβε συνολικά 24.335 νοσηλευόμενους ασθενείς, (51,6%) άνδρες με μέση ηλικία $61,9 \pm 16,4$ έτη. Η μέση συγκέντρωση CO ήταν $4,5 \pm 2,3$ mg/m³. Για μια αύξηση του CO κατά 1 mg/m³, παρατηρήθηκε σημαντική συσχέτιση με τον αριθμό των νοσηλειών για καρδιαγγειακά νοσήματα. Τα αποτελέσματά έδειξαν ότι η έκθεση σε CO συνέβαλε στην αύξηση του αριθμού των νοσηλειών για καρδιαγγειακά νοσήματα.

Το CO είναι ένα τοξικό αέριο που μπορεί να είναι θανατηφόρο σε μεγάλες δόσεις και μπορεί επίσης να προκαλέσει φυσιολογική βλάβη σε χαμηλότερες δόσεις. Επιδημιολογικές μελέτες υποδεικνύουν ότι το CO σε χαμηλότερες δόσεις με την πάροδο του χρόνου μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη των εμβρύων, ιδιαίτερα την καρδιακή ανάπτυξη. Οι Matias et al. (2024) περιέγραψαν ένα πείραμα, κατά το οποίο έμβρυα κοτόπουλου εκτέθηκαν σε τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις (3, 9, 18 ppm) CO για τις πρώτες 9 ημέρες ανάπτυξης, οπότε αξιολογήθηκε το βάρος αυγού και εμβρύου, το αναπτυξιακό στάδιο, το βάρος της καρδιάς και το πάχος κοιλιακού τοιχώματος. Από την ανάλυση των δεδομένων βρέθηκε ότι το βάρος της καρδιάς μειώθηκε για τις χαμηλές και μέτριες εκθέσεις, ότι το πάχος του κοιλιακού τοιχώματος και του κοιλιακού τοιχώματος ήταν αυξημένο για τις μέτριες και υψηλές εκθέσεις και ότι το πάχος του κοιλιακού διαφράγματος ήταν αυξημένο για χαμηλές, μέτριες και υψηλές εκθέσεις. Μέσα από αυτή η μελέτη υποδηλώθηκε επομένως ότι το CO ακόμα και σε πολύ χαμηλά επίπεδα μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ανάπτυξη της καρδιάς των εμβρύων κοτόπουλου.

Σύμφωνα με τους Cheng et al. (2019) στο Λαντζού της Κίνας έγινε μια μελέτη που είχε ως στόχο να προσδιορίσει τις νοσηλείες στο νοσοκομείο λόγω καρδιαγγειακής νόσου, που προκλήθηκε μετά από έκθεση στο CO, και το κόστος νοσηλείας, σε μια πόλη που ιστορικά συγκαταλέγεται μεταξύ των Κινέζικων πόλεων με πολύ μεγάλη ατμοσφαιρική ρύπανση. Συλλέχθηκαν ημερήσια δεδομένα σχετικά με τις νοσηλείες, τους ατμοσφαιρικούς ρύπους και τις καιρικές συνθήκες από το 2013 έως το 2017. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι συγκεντρώσεις CO κάτω από το ισχύον κινεζικό πρότυπο ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα είχαν σημαντική επίπτωση στις νοσηλείες λόγω καρδιαγγειακής νόσου. Κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, το CO ήταν υπεύθυνο για το 11,74% των συνολικών νοσηλειών, που αντιστοιχούν σε 62.792 ημέρες νοσηλείας και 149 εκατομμύρια RMB (renminbi, Κινέζικο Γουάν, νόμισμα της Κίνας). Κάθε ενήλικος ασθενής ξόδεψε κατά μέσο όρο περίπου το 5% του ετήσιου μισθού του σε φάρμακα για τη θεραπεία της καρδιαγγειακής νόσου. Η διατήρηση της συγκέντρωσης CO από 1 έως 3 mg/m³ θα μπορούσε να αποτρέψει εκατοντάδες νοσηλείες για καρδιαγγειακά νοσήματα και να εξοικονομήσει εκατομμύρια RMB ετησίως. Το συμπέρασμα της μελέτης ήταν ότι η έκθεση σε χαμηλή συγκέντρωση CO στο περιβάλλον αύξησε τον κίνδυνο νοσηλειών λόγω καρδιαγγειακής νόσου και οδήγησε σε σημαντικές επιβαρύνσεις για την υγεία και την οικονομία στο Λαντζού της Κίνας.

Οι Villela et al. (2020) περιέγραψαν μια έρευνα που διεξήχθη μεταξύ 2005 και 2014, σε ασθενείς με διάγνωση δηλητηρίασης από CO σε ένα κέντρο υγείας, όπου εξετάστηκαν από εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό. Η μελέτη είχε στόχο να εντοπιστούν παράγοντες που σχετίζονταν με την καρδιακή δυσλειτουργία. Συνολικά, 88 ασθενείς, με μέση ηλικία τα 34 έτη, υποβλήθηκαν σε CMR. Από αυτούς, οι 74 είχαν οξεία δηλητηρίαση και οι 14 χρόνια (έκθεση σε CO διάρκειας άνω των 24 ωρών). Ο χρόνος που μεσολάβησε από τη δηλητηρίαση μέχρι την εξέταση με CMR ήταν κατά μέσο όρο 24 μήνες. Οι ασθενείς χωρίστηκαν σε τέσσερις διαφορετικές ομάδες: όσοι είχαν οξεία δηλητηρίαση και υποβλήθηκαν σε απεικόνιση σε λιγότερο από 12 μήνες, μεταξύ 12-60 μηνών ή μετά από 60 μήνες από τη δηλητηρίαση, καθώς και άτομα με χρόνια δηλητηρίαση. Από τις συνολικές περιπτώσεις ασθενών που διερεύνησαν οι Villela et al. (2020), το 30% (26 περιπτώσεις) παρουσίασαν παθολογικά ευρήματα. Τα πιο συχνά προβλήματα που παρατηρήθηκαν αφορούσαν συστολική δυσλειτουργία της αριστερής κοιλίας (σε 14 ασθενείς), συστολική δυσλειτουργία της δεξιάς κοιλίας (σε 9 ασθενείς)

και διάταση της αριστερής κοιλίας (σε 6 ασθενείς). Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι αλλοιώσεις ήταν ήπιες και εντοπίστηκαν με παρόμοια συχνότητα σε όλες τις ομάδες ασθενών. Επιπλέον, όσοι εμφάνιζαν δύσπνοια κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης ήταν πιο πιθανό να έχουν παθολογικά ευρήματα. Συνολικά, φάνηκε ότι ήπιες διαταραχές στη δομή και τη λειτουργία των κοιλιών ήταν συχνές στους επιζώντες από δηλητηρίαση με CO, ενώ η παρουσία ουλών στο μυοκάρδιο ήταν σπάνιες.

Η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα (CO) αποτελεί σοβαρό πρόβλημα δημόσιας υγείας, με πιθανές επιπλοκές στο καρδιαγγειακό σύστημα. Η μελέτη των Kalay et al. (2007) εξέτασε την επίδραση της δηλητηρίασης από CO στην καρδιακή λειτουργία, σε είκοσι ασθενείς που εισήχθησαν με επιβεβαιωμένη δηλητηρίαση.

Κάθε ασθενής υποβλήθηκε σε ηχοκαρδιογραφική εξέταση:

κατά την εισαγωγή στο νοσοκομείο,

εντός των πρώτων 24 ωρών, και μέσα στην πρώτη εβδομάδα μετά την έκθεση.

Σε έξι από τους είκοσι ασθενείς, οι καρδιακοί δείκτες (όπως η τροπονίνη) βρέθηκαν αυξημένοι, γεγονός που υποδηλώνει πιθανή μυοκαρδιακή βλάβη. Οι ασθενείς αυτοί είχαν επίσης σημαντικά υψηλότερα επίπεδα CO στο αίμα σε σύγκριση με τους υπόλοιπους.

Για περαιτέρω διερεύνηση, οι έξι ασθενείς με αυξημένους δείκτες υποβλήθηκαν σε στεφανιογραφία (αγγειογραφία των στεφανιαίων αγγείων). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όλοι είχαν φυσιολογικές στεφανιαίες αρτηρίες, χωρίς αποφράξεις ή αθηρωματικές αλλοιώσεις.

Το βασικό συμπέρασμα της μελέτης ήταν ότι η δυσλειτουργία του μυοκαρδίου μπορεί να προκληθεί από τη δηλητηρίαση με CO, ακόμα και όταν δεν υπάρχει δομική ή αγγειακή βλάβη στην καρδιά. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, η καρδιακή δυσλειτουργία ήταν παροδική και υποχωρούσε εντός των πρώτων 24 ωρών από την έκθεση.

5.1.4 Επιδράσεις στο ενδοκρινικό σύστημα

Οι καρδιακές επιπλοκές και οι νευρολογικές συνέπειες είναι από τις βασικότερες αιτίες αυξημένης θνησιμότητας έπειτα από δηλητηρίαση με CO. Εκτός από την υποξία, νεότερα δεδομένα δείχνουν ότι η έκθεση στο CO μπορεί να πυροδοτήσει φλεγμονώδεις και ανοσολογικές αντιδράσεις σε διάφορα όργανα, οδηγώντας στην εκδήλωση ενδοκρινικών διαταραχών. Σύμφωνα με τους Savioli et al. (2024), στην Ταϊβάν το 2017 διαπιστώθηκε ότι η δηλητηρίαση από CO συνδέθηκε με διπλάσιο κίνδυνο εμφάνισης διαβήτη, ο οποίος φαίνεται να οφείλονταν σε συνδυασμό βλαβών. Ο κίνδυνος αυτός ήταν ιδιαίτερα αυξημένος σε άτομα κάτω των 35 ετών και σε ηλικιωμένους άνω των 65 ετών, καθώς και σε γυναίκες ή ασθενείς με προϋπάρχοντα προβλήματα, όπως υποθυροειδισμό, καρδιακή ανεπάρκεια ή σύνδρομο πολυκυστικών ωοθηκών. Ο συγκεκριμένος κίνδυνος μπορούσε να παραμείνει για διάστημα έως και τέσσερα χρόνια μετά την έκθεση. Η δηλητηρίαση από CO προκάλεσε επίσης διαταραχές στη λειτουργία των επινεφριδίων, τα οποία παράγουν τρεις βασικές κατηγορίες ορμονών, απαραίτητες για τη ρύθμιση σημαντικών λειτουργιών του οργανισμού: γλυκοκορτικοειδή, ορυκτοκορτικοειδή και ανδρογόνα. Μια ακόμη ενδοκρινική διαταραχή που έχει συσχετιστεί στην προαναφερθείσα μελέτη με τη δηλητηρίαση από CO είναι ο υποθυροειδισμός.

5.1.5 Επιδράσεις στο γαστρεντερικό σύστημα

Αν και οι γαστρεντερικές επιπλοκές δεν είναι ιδιαίτερα συχνές μετά από δηλητηρίαση με CO, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα εμφάνισης γαστρεντερικής αιμορραγίας λόγω υποξικής βλάβης του γαστρικού βλεννογόνου, κάτι που καθιστά αναγκαία την έγκαιρη προληπτική αντιμετώπιση. Σύμφωνα με τα ευρήματα των Tekin et al. το 2020 μια 61χρονη γυναίκα ασθενής βρέθηκε αναισθητη στο δωμάτιό της από τους συγγενείς της και μεταφέρθηκε στο τμήμα επειγόντων περιστατικών. Το ιατρικό της ιστορικό περιλάμβανε υπέρταση και κρίση πανικού, χωρίς άλλες χρόνιες παθήσεις. Μετά την εισαγωγή της στο νοσοκομείο διασωληνώθηκε και της χορηγήθηκε 100% οξυγόνο. Στη συνέχεια εμφάνισε εμετό ο οποίος είχε κόκκινο χρώμα. Δεν υπήρχε

ιστορικό προηγούμενων αιμορραγιών από το ανώτερο πεπτικό, ούτε υπήρχαν ενδείξεις έλκους, λήψης αντιπηκτικών, ηπατικών νόσων ή κακοήθειας. Οι συγγενείς της ανέφεραν ότι στο δωμάτιο της υπήρχε ελαφριά οσμή καπνού. Οι απεικονιστικές και κλινικές εξετάσεις απέκλεισαν το ενδεχόμενο εγκεφαλικού επεισοδίου, ενώ η τελική διάγνωση ήταν αιμορραγία από το ανώτερο γαστρεντερικό, λόγω δηλητηρίασης από CO. Η ασθενής έλαβε εξιτήριο την πέμπτη μέρα νοσηλείας, χωρίς να εμφανίσει επιπλοκές.

Εκτός από τις αρνητικές επιπτώσεις του CO στο γαστρεντερικό σύστημα, βάσει της μελέτης των Gibbons et al. (2013) ανάλογα τον τρόπο παραγωγής του, μπορεί να δράσει ευεργετικά. Το CO που προέρχεται από το HO-1(Heme Oxygenase 1) έχει αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες, οι οποίες προστατεύουν το μυ του γαστρεντερικού σωλήνα από βλάβες που προκαλούνται λόγω τραυματισμού ή φλεγμονής. Το CO χρησιμοποιείται πολλές φορές ως θεραπευτικός παράγοντας σε μια ποικιλία γαστρεντερικών διαταραχών όπως, η φλεγμονώδης νόσος του εντέρου και η σήψη ή ακόμη και σε μεταμόσχευση οργάνων . Συμπερασματικά, το τοξικό αυτό αέριο σε κάποιες περιπτώσεις καθιστά έναν σημαντικό ρυθμιστή της γαστρεντερικής λειτουργίας και προστατεύει το γαστρεντερικό σωλήνα από επιβλαβείς τραυματισμούς.

6. Πρόληψη και θεραπεία

6.1 Προστασία από τις εξωτερικές και εσωτερικές εκπομπές CO

Το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι ένα εξαιρετικά τοξικό αέριο που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στην ανθρώπινη υγεία και, σε υψηλές δόσεις, να οδηγήσει ακόμη και στον θάνατο (Raub & Benignus, 2020). Με τη συνεχή χρήση συσκευών καύσης και την αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση, η μείωση των εκπομπών CO αποτελεί κρίσιμο στόχο για τη δημόσια υγεία. Η προστασία απαιτεί μια συνδυαστική προσέγγιση, που περιλαμβάνει δημόσια πολιτική, τεχνολογικές λύσεις, εκπαίδευση και παρακολούθηση.

Κατανόηση των πηγών εκπομπών CO

Για την ανάπτυξη καλών πρακτικών προστασίας από την έκθεση, είναι επιτακτική ανάγκη να γίνει διάκριση μεταξύ εξωτερικών και εσωτερικών πηγών εκπομπών CO. Οι εσωτερικές πηγές αναφέρονται στο CO που παράγεται σε κλειστούς χώρους, όπως κατοικίες, κλειστά γκαράζ στάθμευσης, υπόγειες διαβάσεις, ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις, και προέρχεται συνήθως από δυσλειτουργικά ή ανεπαρκώς αεριζόμενα συστήματα θέρμανσης, σόμπες αερίου και γεννήτριες. Οι εξωτερικές πηγές περιλαμβάνουν τις εκπομπές από την κυκλοφορία οχημάτων, τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις και την καύση βιομάζας, οι οποίες μπορούν να διεισδύσουν σε εσωτερικούς χώρους ιδίως σε αστικές περιοχές με κακή ποιότητα αέρα ή κοντά σε αυτοκινητόδρομους και εργοστάσια (Sahu et al., 2023).

Τεχνολογικές παρεμβάσεις και υποδομές

Μια βασική στρατηγική για τον μετριασμό της εσωτερικής έκθεσης σε CO είναι η ευρεία εγκατάσταση ανιχνευτών και συναγερμών CO. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα νοικοκυριά που είναι εξοπλισμένα με συναγερμούς CO μειώνουν σημαντικά τον κίνδυνο θανατηφόρας έκθεσης, παρέχοντας έγκαιρες προειδοποιήσεις, επιτρέποντας στους κατοίκους να εκκενώσουν το χώρο και να ζητήσουν βοήθεια πριν τα συμπτώματα γίνουν σοβαρά (Κέντρα Ελέγχου και Πρόληψης Νοσημάτων [CDC], 2022). Οι σύγχρονοι ανιχνευτές CO είναι φθινοί, με τιμή της τάξης των 20-50 €, και μπορούν να ενσωματωθούν σε έξυπνα συστήματα οικιακής χρήσης για την παροχή ειδοποιήσεων σε

πραγματικό χρόνο μέσω smartphone, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα της αντίδρασης.

Πέρα από τους συναγερμούς, είναι απαραίτητη η τακτική συντήρηση και επιθεώρηση των συσκευών καύσης καυσίμων και των συστημάτων θέρμανσης. Έρευνα της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA, 2021) έχει δείξει ότι οι ετήσιες επιθεωρήσεις από πιστοποιημένους επαγγελματίες μπορούν να αποτρέψουν το μεγαλύτερο μέρος των τυχαίων εκπομπών CO εντός του σπιτιού. Η συντήρηση περιλαμβάνει τον έλεγχο για ρωγμές στους εναλλάκτες θερμότητας, φραγμένες καμινάδες και τη διασφάλιση της σωστής καύσης και εξαερισμού.

Στον σχεδιασμό των κτιρίων, ο σωστός αερισμός είναι κρίσιμος. Τα μηχανικά συστήματα αερισμού που εξασφαλίζουν συνεχή εναλλαγή αέρα μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου συμβάλλουν στην αραίωση των συγκεντρώσεων CO στο εσωτερικό. Σε ψυχρότερα κλίματα όπου τα παράθυρα είναι συχνά κλειστά συνιστώνται ανεμιστήρες ανάκτησης θερμότητας (Heat Recovery Ventilators – HRV) , καθώς παρέχουν αερισμό διατηρώντας την ενεργειακή απόδοση (Arens et al., 2019). Επιπλέον, η χρήση συσκευών καύσης με σφραγισμένη καύση, οι οποίες αντλούν αέρα από το εξωτερικό και εκπέμπουν τα καυσαέρια απευθείας στο εξωτερικό, μειώνει σημαντικά τα επίπεδα CO στο εσωτερικό.

Αντιμετώπιση της έκθεσης σε εξωτερικές πηγές CO

Ο πολεοδομικός σχεδιασμός και οι περιβαλλοντικές ρυθμίσεις διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη μείωση της έκθεσης σε εξωτερικό CO. Ρυθμιστικά μέτρα, όπως τα πρότυπα εκπομπών οχημάτων και οι έλεγχοι της ποιότητας του αέρα στη βιομηχανία, έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά στη μείωση των επιπέδων CO στο περιβάλλον τις τελευταίες δεκαετίες. Για παράδειγμα, η εισαγωγή των προτύπων εκπομπών οχημάτων Euro 6 στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχει οδηγήσει σε μετρήσιμη μείωση των συγκεντρώσεων CO στους δρόμους (Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος [EEA], 2022). Ομοίως, ο αυστηρότερος έλεγχος των εκπομπών για σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και εργοστάσια έχει δείξει σημαντική επίδραση στη μείωση της ρύπανσης από CO σε πυκνοκατοικημένες περιοχές της Κίνας και της Ινδίας (Zhang et al., 2020).

Παρά τις προόδους αυτές, η έκθεση σε εξωτερικές πηγές CO παραμένει ανησυχητική για τους ανθρώπους που ζουν σε περιοχές με υψηλή κυκλοφορία ή εργάζονται σε

επαγγέλματα με έκθεση σε καυσαέρια από κινητήρες εσωτερικής καύσης ή συμμετοχή σε βιομηχανικές διεργασίες.

Οι στρατηγικές προστασίας περιλαμβάνουν τη χρήση προσωπικών συσκευών παρακολούθησης της έκθεσης σε επαγγελματικά περιβάλλοντα, ιδίως για πυροσβέστες, συγκολλητές και μηχανικούς συνεργείων, όπου η έκθεση στο CO είναι συχνή και ενδεχομένως χρόνια (NIOSH, 2021). Επιπλέον, ο σχεδιασμός αστικών κτιρίων με συστήματα φιλτραρίσματος του αέρα και η ελαχιστοποίηση της απόστασης μεταξύ των χώρων διαβίωσης και των πηγών κυκλοφορίας μειώνουν περαιτέρω τη διείσδυση του CO σε εσωτερικούς χώρους (Li et al., 2023).

Οι πράσινες υποδομές μπορούν επίσης να συμβάλουν στη μείωση των συγκεντρώσεων CO στο περιβάλλον. Η αστική βλάστηση όχι μόνο βοηθά στην απορρόφηση των ρύπων, αλλά μπορεί να επηρεάσει τη ροή του αέρα και τη διασπορά των ρύπων. Μια μελέτη των Gromke και Ruck (2018) διαπίστωσε ότι τα στρατηγικά τοποθετημένα δέντρα και οι πράσινοι τοίχοι κατά μήκος των δρόμων μπορούν να μειώσουν την έκθεση στο CO στις πεζοδρομημένες ζώνες, αλλάζοντας τα μοτίβα ανάμειξης του αέρα, αν και πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε να μην δημιουργηθούν «φαράγγια» που παγιδεύουν τους ρύπους.

Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι και ισότητα

Η προστασία από τις εκπομπές CO είναι επίσης θέμα κοινωνικής ισότητας. Τα νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα επηρεάζονται δυσανάλογα από την εσωτερική έκθεση στο CO λόγω των παρωχημένων συστημάτων θέρμανσης, της περιορισμένης πρόσβασης σε υπηρεσίες συντήρησης και της έλλειψης ανιχνευτών CO. Η μελέτη των Wu et al. (2021) στις ΗΠΑ διαπίστωσε μια άμεση συσχέτιση μεταξύ της κοινωνικοοικονομικής κατάστασης και της ύπαρξης λειτουργικών ανιχνευτών CO στα νοικοκυριά. Ως εκ τούτου, τα μέτρα πολιτικής πρέπει να περιλαμβάνουν επιδοτήσεις για ανιχνευτές CO, υποχρεωτική εγκατάσταση αυτών σε ενοικιαζόμενα ακίνητα και εκστρατείες ευαισθητοποίησης του κοινού που απευθύνονται σε ευάλωτους πληθυσμούς.

Η δημόσια στέγαση και οι υπηρεσίες κοινωνικής υποστήριξης πρέπει να ενσωματώσουν την ασφάλεια από την έκθεση σε CO στα πρότυπα ποιότητας των κατοικιών. Οι κυβερνήσεις και οι ΜΚΟ έχουν υλοποιήσει προγράμματα που προσφέρουν δωρεάν ανιχνευτές CO σε νοικοκυριά που διατρέχουν κίνδυνο, τα οποία έχουν αποφέρει

απτά οφέλη. Για παράδειγμα, η πρωτοβουλία «Safe and Warm Homes» (Ασφαλείς και ζεστές κατοικίες) στο Ηνωμένο Βασίλειο οδήγησε σε αύξηση κατά 60% της χρήσης ανιχνευτών σε οικογένειες χαμηλού εισοδήματος εντός δύο ετών από την εφαρμογή της (Department for Levelling Up, Housing and Communities, 2022).

Εκπαίδευση και αλλαγή συμπεριφοράς

Η ανθρώπινη συμπεριφορά είναι μια σημαντική μεταβλητή στην ασφάλεια στην έκθεση CO. Οι εκστρατείες ενημέρωσης του κοινού μπορούν να ευαισθητοποιήσουν σχετικά με τους κινδύνους του CO και την κατάλληλη χρήση των συσκευών καύσης καυσίμων. Οι παρεμβάσεις στη συμπεριφορά, όπως η αποφυγή της χρήσης γεννητριών ή συσκευών ψησίματος σε εσωτερικούς χώρους κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος, μπορούν να αποτρέψουν τραγικά περιστατικά. Μια ανάλυση της δημόσιας υγείας μετά την κρίση ηλεκτρικής ενέργειας του 2021 στο Τέξας εντόπισε αρκετές περιπτώσεις δηλητηρίασης από CO που συνδέονταν με τη χρήση εξοπλισμού μαγειρέματος εξωτερικού χώρου εντός των σπιτιών κατά τη διάρκεια περιόδων παγετού (Schmidt et al., 2021). Αυτά τα περιστατικά υπογραμμίζουν τη σημασία της διάδοσης πολιτισμικά σχετικών και έγκαιρων πληροφοριών κατά τη διάρκεια καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.

Η επαγγελματική κατάρτιση είναι εξίσου κρίσιμη. Οι εργαζόμενοι στους τομείς των μεταφορών, της πυρόσβεσης και των κατασκευών πρέπει να εκπαιδεύονται ώστε να αναγνωρίζουν τα συμπτώματα της έκθεσης σε CO και να χρησιμοποιούν προστατευτικό εξοπλισμό, όπως φορητούς ανιχνευτές CO ή μάσκες με εξαερισμό. Η υποχρεωτική συμπερίληψη της ασφάλειας από το CO στις αναλύσεις κινδύνων στην εργασία και στις ασκήσεις ασφάλειας μπορεί να μειώσει τα περιστατικά που σχετίζονται με τον χώρο εργασίας (Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 2023).

Τα σχολεία και τα εκπαιδευτικά ιδρύματα μπορούν επίσης να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο ενσωματώνοντας την περιβαλλοντική υγειονομική παιδεία στα προγράμματα σπουδών τους. Με την ευαισθητοποίηση από νεαρή ηλικία, οι κοινωνίες μπορούν να δημιουργήσουν ένα πιο ενημερωμένο κοινό που θα είναι προληπτικό στην αναγνώριση και τον μετριασμό των κινδύνων από το CO. Μελέτες δείχνουν ότι οι μαθητές που μαθαίνουν για την ατμοσφαιρική ρύπανση σε εσωτερικούς χώρους είναι πιο πιθανό να συζητήσουν το θέμα στο σπίτι, επηρεάζοντας ενδεχομένως τις συμπεριφορές των νοικοκυριών (Jin et al., 2019).

Αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης

Οι στρατηγικές προστασίας πρέπει επίσης να λαμβάνουν υπόψη την ετοιμότητα για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε φυσικές καταστροφές, συχνά χρησιμοποιούνται εφεδρικές γεννήτριες και συσκευές που λειτουργούν με καύσιμα όταν τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζουν βλάβη, αυξάνοντας δραματικά τον κίνδυνο CO. Ως εκ τούτου, τα σχέδια έκτακτης ανάγκης πρέπει να περιλαμβάνουν την ασφάλεια από το CO, συμπεριλαμβανομένων κατευθυντήριων γραμμών για την ασφαλή τοποθέτηση γεννητριών (τουλάχιστον 20 πόδια από οποιοδήποτε παράθυρο ή πόρτα), δημόσιες ειδοποιήσεις μέσω γραπτών μηνυμάτων και διανομή φορητών ανιχνευτών CO κατά τη διάρκεια κρίσεων (Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Έκτακτων Αναγκών [FEMA], 2023).

Επιπλέον, οι υποδομές των πόλεων πρέπει να είναι ανθεκτικές. Οι υπόγειοι χώροι στάθμευσης, οι σήραγγες και οι σταθμοί μαζικής μεταφοράς χρειάζονται προηγμένα συστήματα εξαερισμού και παρακολούθησης του CO για να εξασφαλίζουν ασφαλή επίπεδα ποιότητας του αέρα. Η ενσωμάτωση συστημάτων ποιότητας του αέρα βασισμένων στο IoT σε τέτοια περιβάλλοντα έχει δείξει υποσχέσεις στην παροχή προσαρμογών σε πραγματικό χρόνο στη ροή του αέρα και τον εξαερισμό για τη διατήρηση ασφαλών επιπέδων CO (Kwon et al., 2022).

Η προστασία της ανθρώπινης υγείας από τις εσωτερικές και εξωτερικές εκπομπές CO απαιτεί μια συντονισμένη προσέγγιση που ενσωματώνει τεχνολογικές καινοτομίες, βελτιώσεις των υποδομών, επιβολή κανονιστικών ρυθμίσεων, παρεμβάσεις στη συμπεριφορά και εκπαιδευτικές δράσεις. Ενώ οι σύγχρονοι ανιχνευτές CO και οι καλά αεριζόμενες συσκευές μειώνουν σημαντικά τους κινδύνους για τα νοικοκυριά, οι κοινωνικές ανισότητες και οι περιβαλλοντικές πολυπλοκότητες εξακολουθούν να δημιουργούν θύλακες ευπάθειας. Η μετάβαση σε καθαρότερες πηγές ενέργειας, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα στις πόλεις και η προτεραιότητα στους πληθυσμούς που διατρέχουν κίνδυνο θα είναι κρίσιμες για τη διασφάλιση της ανθρώπινης υγείας, καθώς η κλιματική αλλαγή και η ενεργειακή μετάβαση αναδιαμορφώνουν τα πρότυπα χρήσης καυσίμων, οι στρατηγικές προσαρμογής που βασίζονται στην ισότητα και την πρόληψη θα εξασφαλίσουν τη βιώσιμη ασφάλεια από το CO για όλους.

6.2 Αντίδραση σε περίπτωση έκθεσης σε μονοξείδιο του άνθρακα, είτε από εσωτερικούς είτε από εξωτερικούς παράγοντες

Η έκθεση στο CO αποτελεί σοβαρό κίνδυνο για τη δημόσια υγεία λόγω των αόρατων ιδιοτήτων του αερίου και της ταχείας εμφάνισης της τοξικότητάς του. Ανεξάρτητα από το αν η έκθεση στο CO προέρχεται από εσωτερικές πηγές, όπως δυσλειτουργίες συσκευών, ή από εξωτερικούς παράγοντες, όπως εκπομπές από την κυκλοφορία ή χρήση γεννητριών σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, η άμεση και ενημερωμένη αντίδραση είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση των βλαβών. Η φυσιολογική αντίδραση του οργανισμού στο CO είναι άμεση: το CO συνδέεται με την αιμοσφαιρίνη και σχηματίζει καρβοξυαιμοσφαιρίνη (COHb), η οποία αναστέλλει σοβαρά τη μεταφορά και την αξιοποίηση του οξυγόνου, με πιθανό αποτέλεσμα την υποξία, τη βλάβη των ιστών ή τον θάνατο (Ernst & Zibrak, 2021). Αυτή η ενότητα παρέχει μια ολοκληρωμένη ανάλυση του τρόπου με τον οποίο τα άτομα, οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης, οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και τα συστήματα δημόσιας υγείας πρέπει να αντιδρούν σε περίπτωση έκθεσης σε CO, εστιάζοντας στην αναγνώριση των συμπτωμάτων, την άμεση παροχή πρώτων βοηθειών, τα πρωτόκολλα διάγνωσης και θεραπείας, καθώς και τις συστηματικές στρατηγικές δημόσιας υγείας.

Η ικανότητα αναγνώρισης των πρώιμων σημείων δηλητηρίασης από CO είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική αντιμετώπιση. Τα συμπτώματα μπορεί να ποικίλλουν σημαντικά ανάλογα με τη συγκέντρωση, τη διάρκεια της έκθεσης, την ηλικία και την κατάσταση της υγείας του ατόμου, αλλά συχνά αρχίζουν να εμφανίζονται ανεπαίσθητα. Τα κοινά πρώιμα συμπτώματα περιλαμβάνουν πονοκέφαλο, ζάλη, ναυτία, κόπωση, σύγχυση και δύσπνοια. Με την πάροδο του χρόνου, τα συμπτώματα μπορεί να εξελιχθούν σε διαταραχή του συντονισμού, απώλεια συνείδησης, καρδιακές επιπλοκές και σπασμούς (Hampson & Weaver, 2022). Αυτές οι εκδηλώσεις συχνά εκλαμβάνονται ως ιογενείς ασθένειες ή τροφική δηλητηρίαση, ειδικά σε κλειστούς χώρους όπου πολλοί άνθρωποι παρουσιάζουν ταυτόχρονα παρόμοια μη ειδικά συμπτώματα.

Η έγκαιρη αναγνώριση είναι πιο δύσκολη σε ευάλωτες ομάδες πληθυσμού, όπως βρέφη, ηλικιωμένοι και άτομα με προϋπάρχουσες παθήσεις, τα οποία ενδέχεται να μην μπορούν να επικοινωνήσουν αποτελεσματικά τα συμπτώματα. Μια μελέτη των Raub et al. (2020) τόνισε ότι τα ηλικιωμένα άτομα συχνά παρουσιάζουν διαφορετικά

συμπτώματα ή εκδηλώσεις μείωσης της γνωστικής λειτουργίας, καθυστερώντας την παρέμβαση. Ως εκ τούτου, οι εκστρατείες ευαισθητοποίησης και η εκπαίδευση στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης πρέπει να τονίζουν αυτές τις διαφορές και να προωθούν την επαγρύπνηση όταν εμφανίζονται ανεξήγητα συμπτώματα σε περιβάλλοντα ή εποχές που ενέχουν κίνδυνο.

Άμεση αντίδραση στον τόπο του συμβάντος

Το πρώτο και πιο κρίσιμο βήμα στην αντιμετώπιση της υποψίας έκθεσης σε CO είναι η άμεση εκκένωση του μολυσμένου περιβάλλοντος. Δεδομένου ότι το CO είναι άοσμο και δεν ανιχνεύεται χωρίς εξειδικευμένους αισθητήρες, οι κάτοικοι δεν πρέπει να προσπαθούν να εντοπίσουν την πηγή χωρίς προστατευτικό εξοπλισμό. Αντ' αυτού, πρέπει να μετακινηθούν σε εξωτερικό χώρο ή σε περιοχή με άφθονο καθαρό αέρα και αερισμό. Σύμφωνα με τα Κέντρα Ελέγχου και Πρόληψης Νοσημάτων (CDC, 2023), η απομάκρυνση από την πληγείσα περιοχή μπορεί να μειώσει γρήγορα τον σχηματισμό COHb και να αρχίσει η αναστροφή της υποξικής βλάβης.

Τα παράθυρα και οι πόρτες πρέπει να ανοίγονται, εάν είναι δυνατόν, κατά τη διαδρομή προς την εκκένωση, αλλά μόνο εάν αυτό δεν καθυστερεί την έξοδο. Είναι εξίσου σημαντικό να αποφεύγονται ενέργειες που θα μπορούσαν να επιδεινώσουν την κατάσταση, όπως η επανείσοδος στο κτίριο για την ανάκτηση αντικειμένων ή η απόπειρα απενεργοποίησης του ελαττωματικού εξοπλισμού χωρίς επαγγελματική βοήθεια. Πρέπει να ενημερωθούν αμέσως οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, επικοινωνώντας με τις αρμόδιες αρχές, οι οποίες μπορούν να αξιολογήσουν την κατάσταση με βαθμονομημένους ανιχνευτές CO και προστατευτικό εξοπλισμό. Οι πυροσβεστικές υπηρεσίες και οι υπηρεσίες έκτακτης ιατρικής βοήθειας (Emergency Medical Services-EMS) είναι συνήθως εκπαιδευμένες για τη διαχείριση τέτοιων περιστατικών και μπορούν να συντονίσουν τεχνικές επιθεωρήσεις και εκκενώσεις, όπως απαιτείται (OSHA, 2023).

Σε περιπτώσεις όπου άτομα βρίσκονται ανίσθητα ή ανίκανα, πρέπει να μεταφέρονται χωρίς καθυστέρηση σε εξωτερικό χώρο, διασφαλίζοντας ότι ο διασώστης δεν εκτίθεται σε παρατεταμένο κίνδυνο. Η Εθνική Ένωση Πυροπροστασίας των ΗΠΑ (NFPA, 2022)

συνιστά στα άτομα που επιχειρούν διάσωση να χρησιμοποιούν αυτόνομες αναπνευστικές συσκευές (SCBA) ή να περιμένουν την άφιξη επαγγελματιών διάσωσης εάν η έκθεση σε τοξικές ουσίες συνεχίζεται. Μπορεί να ξεκινήσει βασική υποστήριξη της ζωής, συμπεριλαμβανομένης της καρδιοπνευμονικής αναζωογόνησης (CPR), εάν είναι απαραίτητο και ασφαλές, αν και ιδανικά θα πρέπει να ακολουθεί χορήγηση οξυγόνου ιατρικής ποιότητας το συντομότερο δυνατό.

Επείγουσα ιατρική αξιολόγηση και νοσοκομειακή διαχείριση

Μετά την απομάκρυνση από το περιβάλλον έκθεσης σε CO, τα άτομα που παρουσιάζουν οποιαδήποτε συμπτώματα, ακόμη και ήπια, πρέπει να υποβάλλονται σε ιατρική αξιολόγηση. Η διαγνωστική επιβεβαίωση περιλαμβάνει συνήθως τη μέτρηση των επιπέδων καρβοξυαιμοσφαιρίνης μέσω οξυμετρίας, μιας εξειδικευμένης μορφής παλμικής οξυμετρίας ή ανάλυσης αερίων αίματος, καθώς τα τυπικά παλμικά οξύμετρα δεν μπορούν να διακρίνουν μεταξύ οξυαιμοσφαιρίνης και COHb (Weaver et al., 2020). Επιπλέον, μπορεί να απαιτηθούν μετρήσεις των επιπέδων γαλακτικού οξέος στο αίμα, ηλεκτροκαρδιογραφήματα και νευρολογικές αξιολογήσεις για την εκτίμηση της έκτασης της συστηματικής υποξίας και της εμπλοκής οργάνων.

Η οξυγονοθεραπεία είναι ο ακρογωνιαίος λίθος της θεραπείας της δηλητηρίασης από CO. Η χορήγηση 100% νορμοβαρικού οξυγόνου μέσω μάσκας μη αναπνοής επιταχύνει σημαντικά τη διάσπαση του CO από την αιμοσφαιρίνη, μειώνοντας τον χρόνο ημιζωής του COHb από περίπου 5 ώρες στον αέρα του δωματίου σε 80-90 λεπτά. Το νορμοβαρικό οξυγόνο είναι καθαρό οξυγόνο που χορηγείται υπό κανονική ατμοσφαιρική πίεση (1 ατμόσφαιρα), χωρίς τη χρήση ειδικού θαλάμου, συνήθως μέσω συσκευών όπως η μάσκα μη επανεισπνοής. (Ernst & Zibrak, 2021). Σε μέτριες έως σοβαρές περιπτώσεις, ιδίως σε περιπτώσεις που περιλαμβάνουν απώλεια συνείδησης, νευρολογικές διαταραχές, καρδιαγγειακή αστάθεια ή επίπεδα COHb που υπερβαίνουν το 25%, μπορεί να ενδείκνυται η υπερβαρική οξυγονοθεραπεία (HBOT). Η HBOT περιλαμβάνει τη χορήγηση οξυγόνου σε αυξημένη ατμοσφαιρική πίεση σε ειδικό θάλαμο, η οποία μειώνει περαιτέρω τον χρόνο ημιζωής του COHb σε περίπου 20 λεπτά και ενισχύει την

οξυγόνωση των ιστών, με πιθανό μετριασμό των μακροπρόθεσμων γνωστικών συνεπειών (Hampson et al., 2020).

Η κλινική απόφαση για τη χρήση της HBOT βασίζεται σε ένα συνδυασμό εργαστηριακών ευρημάτων και της κλινικής εικόνας του ασθενούς. Αν και η χρήση της παραμένει κάπως αμφιλεγόμενη λόγω των αντικρουόμενων στοιχείων σχετικά με τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα, οι τρέχουσες κατευθυντήριες οδηγίες της Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS) υποστηρίζουν τη HBOT σε επιλεγμένες περιπτώσεις, ειδικά όταν υπάρχουν εμφανή νευρολογικά συμπτώματα (Thom et al., 2019). Οι ασθενείς πρέπει να παρακολουθούνται στενά για καθυστερημένες νευρολογικές επιπλοκές, οι οποίες μπορεί να εμφανιστούν ημέρες έως εβδομάδες μετά την έκθεση και περιλαμβάνουν απώλεια μνήμης, αλλαγές προσωπικότητας και κινητική δυσλειτουργία.

Μακροπρόθεσμη παρακολούθηση και ψυχολογική υποστήριξη

Η ανάρρωση από δηλητηρίαση με CO μπορεί να μην είναι άμεση, ιδιαίτερα σε σοβαρές περιπτώσεις. Η μακροχρόνια παρακολούθηση είναι απαραίτητη για την παρακολούθηση καθυστερημένων νευροψυχιατρικών συνεπειών (DNS), οι οποίες εμφανίζονται σε περίπου 10-40% των περιπτώσεων μέτριας έως σοβαρής δηλητηρίασης (Weaver et al., 2020). Μπορεί να είναι απαραίτητες νευρογνωστικές εξετάσεις, απεικονιστικές μελέτες και παραπομπή σε νευρολόγους ή ψυχολόγους, ανάλογα με τα επίμονα συμπτώματα.

Επιπλέον, απαιτείται ψυχολογική υποστήριξη. Τα περιστατικά έκθεσης, ιδίως αυτά που συνεπάγονται τραυματισμό ή θάνατο, μπορούν να οδηγήσουν σε μετατραυματικό στρες, άγχος ή κατάθλιψη στους επιζώντες. Η δομημένη συμβουλευτική, οι ομάδες υποστήριξης ή η θεραπεία μπορούν να βελτιώσουν την αντιμετώπιση και να διευκολύνουν την επιστροφή στην καθημερινή λειτουργία. Οι φροντιστές των παιδιών που έχουν προσβληθεί, τα οποία είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στις επιδράσεις του CO, επωφελούνται επίσης από παρεμβάσεις υποστήριξης για την αντιμετώπιση των συνεχιζόμενων αναγκών υγειονομικής περίθαλψης.

Δημόσια υγεία και ανταπόκριση σε επίπεδο κοινότητας

Όταν επηρεάζονται πολλά άτομα ή όταν η έκθεση σε CO προκύπτει από συστηματικά προβλήματα, όπως βλάβη υποδομών, φυσικές καταστροφές ή ελαττωματικά δημόσια

κτίρια, οι αρχές δημόσιας υγείας πρέπει να συντονίζουν πολυεπίπεδες ενέργειες διαχείρισης κρίσεων. Αυτό περιλαμβάνει την άμεση επικοινωνία των κινδύνων, τη διάδοση πληροφοριών ασφαλείας μέσω των μέσων ενημέρωσης και την παροχή καταφυγίων έκτακτης ανάγκης με ασφαλείς λύσεις θέρμανσης. Μετά τον τυφώνα Ίντα το 2021, σημειώθηκαν πολλαπλοί θάνατοι λόγω της χρήσης γεννητριών σε εσωτερικούς χώρους, γεγονός που ώθησε τις υπηρεσίες δημόσιας υγείας των Ηνωμένων Πολιτειών να εκδώσουν ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο, να διανείμουν φορητούς ανιχνευτές CO και να επιβάλουν προσωρινή απαγόρευση της χρήσης καυσίμων χωρίς εξαερισμό σε εσωτερικούς χώρους (CDC, 2022).

Η επιτήρηση σε επίπεδο κοινότητας είναι επίσης κρίσιμη. Οι υγειονομικές υπηρεσίες μπορούν να χρησιμοποιούν εργαλεία επιδημιολογικής επιτήρησης για την ανίχνευση προτύπων επείγουσας μεταφοράς στο νοσοκομείο που σχετίζονται με το CO, επιτρέποντας την έγκαιρη αναγνώριση συσπειρώσεων έκθεσης. Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) και οι ψηφιακές πλατφόρμες επιδημιολογίας μπορούν να βοηθήσουν στην παρακολούθηση και πρόβλεψη των κινδύνων σε περιπτώσεις όπως διακοπές ρεύματος, ελλείψεις καυσίμων ή υπερφόρτωση των δικτύων υποδομής συνθήκες που συχνά συνοδεύουν ακραία καιρικά φαινόμενα και ενδέχεται να αυξήσουν τη χρήση επισφαλών πηγών θέρμανσης ή ενέργειας, με συνέπεια αυξημένο κίνδυνο έκθεσης σε CO (Riley et al., 2023).

Οι στρατηγικές πρόληψης σε επίπεδο συστήματος περιλαμβάνουν την υιοθέτηση κανονισμών δόμησης που απαιτούν την εγκατάσταση ανιχνευτών CO σε σπίτια, σχολεία και χώρους εργασίας, τακτικές επιθεωρήσεις των συστημάτων θέρμανσης και εξαερισμού σε δημόσιες εγκαταστάσεις και εκστρατείες ενημέρωσης του κοινού πριν από τις κρύες εποχές ή τις μεγάλες αργίες, όταν οι κίνδυνοι CO αυξάνονται λόγω των δραστηριοτήτων θέρμανσης και μαγειρέματος. Ένα προληπτικό παράδειγμα είναι η εκστρατεία «CO Safe Winter» που ξεκίνησε στον Καναδά, η οποία ενσωματώνει μηνύματα της κυβέρνησης, ειδοποιήσεις των παρόχων υγειονομικής περίθαλψης και εκπαίδευση της κοινότητας για την προετοιμασία των νοικοκυριών πριν από το χειμώνα (Health Canada, 2021).

Εξειδίκευση του προσωπικού έκτακτης ανάγκης

Η αποτελεσματική ανταπόκριση σε περιστατικά έκθεσης σε CO προϋποθέτει συνεχή και εξειδικευμένη εκπαίδευση των πρώτων ανταποκριτών, όπως πυροσβεστών,

διασωστών και ιατρικού προσωπικού επειγόντων περιστατικών. Εκπαιδευτικά προγράμματα βασισμένα σε προσομοιώσεις ενισχύουν την αναγνώριση της δηλητηρίασης, την ταχεία παρέμβαση και τη συνεργασία μεταξύ υπηρεσιών. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίνεται στην ενίσχυση των αγροτικών και μειονεκτουσών περιοχών, μέσω κρατικής στήριξης και ίσης πρόσβασης σε εκπαίδευση και τεχνολογία, ώστε να μειωθούν οι ανισότητες στην επείγουσα φροντίδα.

Η συχνότητα των καταστροφών λόγω κλιματικών αλλαγών, των διακοπών ρεύματος και των ενεργειακών κρίσεων αυξάνεται, καθιστώντας την ετοιμότητα για την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Οι πληθυσμοί που στρέφονται σε εναλλακτικές μεθόδους θέρμανσης και μαγειρέματος κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος διατρέχουν υψηλό κίνδυνο. Οι συμβουλές για τη δημόσια υγεία πρέπει να περιλαμβάνουν πρωτόκολλα ασφάλειας για το CO, όπως η τοποθέτηση των γεννητριών σε απόσταση τουλάχιστον 20 ποδιών από οποιοδήποτε κτίριο, η αποφυγή χρήσης ψησταριών σε εσωτερικούς χώρους και η εξασφάλιση κατάλληλου αερισμού κατά την καύση καυσίμων (FEMA, 2023).

Οι τοπικές αρχές μπορούν να διανέμουν προληπτικά ανιχνευτές CO και ενημερωτικό υλικό πριν από καταιγίδες ή διακοπές της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Κατά τη διάρκεια της διακοπής ρεύματος που έπληξε την Ευρώπη το χειμώνα του 2022, οι δήμοι που έλαβαν τέτοια προληπτικά μέτρα ανέφεραν σημαντικά λιγότερα περιστατικά τραυματισμών που σχετίζονταν με το CO σε σύγκριση με περιοχές που δεν είχαν συντονισμένη δράση (Ευρωπαϊκό Κέντρο Πρόληψης και Ελέγχου Νόσων [ECDC], 2023).

Σε επαγγέλματα υψηλού κινδύνου, όπως η κατασκευή σιράγγων, η συγκόλληση και η πυρόσβεση, η παρακολούθηση του CO πρέπει να είναι συνεχής. Τα όρια έκθεσης πρέπει να συμμορφώνονται με τα επικαιροποιημένα επαγγελματικά πρότυπα. Η Υπηρεσία Ασφάλειας και Υγείας στην Εργασία (OSHA, 2023) ορίζει επί του παρόντος τα επιτρεπόμενα όρια έκθεσης (PEL) σε 50 μέρη ανά εκατομμύριο σε μέσο όρο σταθμισμένο σε οκτώ ώρες, αν και ορισμένοι εμπειρογνώμονες υποστηρίζουν αυστηρότερα όρια, λαμβάνοντας υπόψη τα νέα δεδομένα για την υγεία.

Η αντίδραση στην έκθεση σε CO, είτε από εσωτερικές είτε από εξωτερικές πηγές, πρέπει να είναι άμεση, ενημερωμένη και πολυεπίπεδη. Οι ενέργειες σε ατομικό επίπεδο όπως η ταχεία εκκένωση, η αναγνώριση των συμπτωμάτων και η ιατρική συμβουλή

αποτελούν την πρώτη γραμμή άμυνας. Σε κλινικό επίπεδο, η ακριβής διάγνωση και η έγκαιρη οξυγονοθεραπεία είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη μακροπρόθεσμων συνεπειών ή θανάτων. Τα συστήματα δημόσιας υγείας πρέπει να ενισχύσουν την ετοιμότητά τους μέσω της εκπαίδευσης της κοινότητας, της επιτήρησης και της ανθεκτικότητας των υποδομών, ιδίως υπό το πρίσμα των αυξανόμενων κλιματικών πιέσεων και της ενεργειακής αστάθειας.

Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία ανέδειξε, μέσα από εκτενή βιβλιογραφική έρευνα, τη σοβαρότητα της απειλής που συνιστά το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) για την ανθρώπινη υγεία και κατ' επέκταση για τη δημόσια υγεία γενικότερα. Το CO είναι μια ένωση με φαινομενικά απλή χημική δομή, αλλά με εξαιρετικά σύνθετο και επικίνδυνο βιολογικό προφίλ. Η ικανότητά του να δεσμεύεται με υψηλή συγγένεια στην αιμοσφαιρίνη και να εμποδίζει την παροχή οξυγόνου στους ιστούς το καθιστά έναν «σιωπηλό» αλλά εξαιρετικά αποτελεσματικό τοξικό παράγοντα, ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Η εργασία εστίασε στην πολυεπίπεδη επίδραση του CO στον ανθρώπινο οργανισμό και αποκάλυψε τη μεγάλη έκταση των επιπτώσεων του σε συστήματα ζωτικής σημασίας. Ειδικότερα, το πέμπτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσίασε αναλυτικά τις συστηματικές επιδράσεις του CO, ξεκινώντας από το αναπνευστικό σύστημα, στο οποίο το αέριο προκαλεί δυσχέρεια στην οξυγόνωση των ιστών, ερεθισμό των αεραγωγών και δευτερογενείς λοιμώξεις. Στο νευρικό σύστημα, το CO οδηγεί σε νευρολογικά ελλείμματα, απώλεια συνείδησης και –σε περιπτώσεις χρόνιας έκθεσης– μόνιμες βλάβες στη γνωστική λειτουργία. Οι επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα είναι εξίσου ανησυχητικές, καθώς το CO συνδέεται με καρδιακές αρρυθμίες, έμφραγμα του μυοκαρδίου και αιφνίδιο καρδιακό θάνατο σε ευάλωτα άτομα. Οι επιδράσεις επεκτείνονται επίσης στο ενδοκρινικό και γαστρεντερικό σύστημα, με σαφείς ενδείξεις μεταβολικών διαταραχών και ηπατοτοξικότητας. Ένα άλλο σημαντικό εύρημα της εργασίας είναι η τεκμηρίωση του υψηλού κινδύνου που διατρέχουν ορισμένες ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού, όπως αναλύθηκε στο τέταρτο κεφάλαιο. Παιδιά, ηλικιωμένοι, έγκυες γυναίκες, άτομα με προϋπάρχουσες καρδιοαναπνευστικές παθήσεις και καπνιστές εμφανίζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις τοξικές επιδράσεις του CO. Οι παιδιατρικοί οργανισμοί, με τον ανώριμο μεταβολισμό και τα υψηλά επίπεδα οξυγόνου που απαιτούνται για ανάπτυξη, είναι ιδιαιτέρως ευάλωτοι σε υποξικά επεισόδια. Παρόμοια, κατά την εγκυμοσύνη, η αυξημένη ευαισθησία της αιμοσφαιρίνης του εμβρύου στο CO μπορεί να οδηγήσει σε διαταραχές της ενδομήτριας ανάπτυξης και πρόωρο τοκετό. Παρά την εκτενή επιστημονική τεκμηρίωση των κινδύνων, διαπιστώνεται ότι η κοινωνική αντίληψη του προβλήματος παραμένει περιορισμένη. Όπως καταδεικνύεται και από την επισκόπηση των πολιτικών πρόληψης στο έκτο κεφάλαιο, σε πολλές περιπτώσεις τα

περιστατικά δηλητηρίασης από CO συμβαίνουν σε οικιακό περιβάλλον λόγω ακατάλληλης χρήσης θερμαντικών συσκευών, κακού εξαερισμού ή απουσίας ανιχνευτών. Οι επαγγελματικοί χώροι, και ειδικά οι κλειστοί βιομηχανικοί χώροι, ενδέχεται επίσης να παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις CO, χωρίς συστηματική παρακολούθηση. Η εργασία τονίζει την ανάγκη για συστηματική πρόληψη, η οποία περιλαμβάνει τη χρήση ανιχνευτών CO σε κατοικίες και χώρους εργασίας, την τακτική συντήρηση και πιστοποίηση συσκευών καύσης, καθώς και την ευαισθητοποίηση του πληθυσμού. Παράλληλα, η ιατρική αντιμετώπιση των περιστατικών δηλητηρίασης απαιτεί έγκαιρη διάγνωση μέσω προσδιορισμού επιπέδων COHb στο αίμα και άμεση χορήγηση οξυγονοθεραπείας ή, σε σοβαρές περιπτώσεις, υπερβαρικής θεραπείας. Ωστόσο, η θεραπεία από μόνη της δεν επαρκεί. Η μακροχρόνια παρακολούθηση είναι αναγκαία, καθώς η έκθεση σε CO μπορεί να προκαλέσει νευρολογικές ή καρδιολογικές επιπλοκές που εκδηλώνονται μέρες ή και εβδομάδες μετά το αρχικό επεισόδιο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο αναδυόμενος τομέας της θεραπευτικής χρήσης του CO σε πολύ χαμηλές, ελεγχόμενες δόσεις. Παρότι η έρευνα σε αυτόν τον τομέα βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο, αναδεικνύει τη σημασία της διαρκούς επιστημονικής διερεύνησης για την κατανόηση του ρόλου του CO τόσο ως τοξικού παράγοντα όσο και ως δυνητικού θεραπευτικού εργαλείου. Συμπερασματικά, η εργασία τεκμηριώνει ότι η αντιμετώπιση των κινδύνων που συνδέονται με το μονοξείδιο του άνθρακα απαιτεί διεπιστημονική και πολυεπίπεδη προσέγγιση. Η πρόληψη, η έγκαιρη διάγνωση, η επείγουσα θεραπευτική παρέμβαση και η μακροπρόθεσμη διαχείριση είναι αλληλένδετοι πυλώνες μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής δημόσιας υγείας. Η προστασία από το CO δεν είναι μόνο τεχνικό ζήτημα, αλλά και κοινωνική ευθύνη. Η κατανόηση των επιδράσεών του, η συνεχής ενημέρωση των πολιτών και η πολιτική βούληση για εφαρμογή προληπτικών μέτρων είναι απαραίτητα εργαλεία για τη μείωση της νοσηρότητας και της θνησιμότητας που σχετίζονται με αυτό το ύπουλο και επικίνδυνο αέριο.

Βιβλιογραφία

- Al-Asmari, Al-Zahrani, A. E., & Halwani, M. A. (2021). Carbon monoxide related deaths in Jeddah, Saudi Arabia: A forensic carboxyhemoglobin autopsy-based study. *Forensic Science International: Reports*, 4, Article 100232. <https://doi.org/10.1016/j.fsir.2021.100232>
- AP News. (2023, December 15). *14 workers, including some renovating a Yale building, hospitalized for carbon monoxide poisoning*. Retrieved from [https://apnews.com/article/9e368f28febf0e9c32cd2cfe4780442eAP News](https://apnews.com/article/9e368f28febf0e9c32cd2cfe4780442eAP%20News)
- Arens, E., Zhang, H., Hoyt, T., & Schiavon, S. (2019). *Ventilation, indoor air quality, and health in buildings*. *Building and Environment*, 148, 1–11.
- Asar, E., Bulut, Y. E., Dindar Badem, N., Orselik, A., Sahin, C. E., Buyukluoglu, G., Kucuk, I., Kocahan, T., & Erguder, T. (2025). Tobacco use and second-hand smoke exposure among athletes; assessment by urine cotinine level and exhaled carbon monoxide: A cross-sectional study. *Healthcare (Switzerland)*, 13(2), 198. <https://doi.org/10.3390/healthcare13020198>
- Atitallah, S., Hadj Salah, I., Ben Saleh, F., Missaoui, N., Ben Rabeh, R., Assidi, M., Yahyaoui, S., Bouyahia, O., Mazigh, S., & Boukthir, S. (2024). Carbon monoxide poisoning in children [Intoxication au monoxyde de carbone chez les enfants]. *Journal de Pédiatrie et de Puériculture*, 37(2), 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.jpp.2024.01.004>
- Bao, H., Qiu, Y., Peng, X., Wang, J. A., Mi, Y., Zhao, S., ... & Sun, X. (2021). Isolated copper single sites for high-performance electroreduction of carbon monoxide to multicarbon products. *Nature Communications*, 12(1), 238.
- Bleecker, M. L. (2015). Carbon monoxide intoxication. In *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 131, pp. 191–203). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62627-1.00024-X>
- Bothuyne-Queste, E., Joriot, S., Mathieu, D., Mathieu-Nolf, M., Favory, R., Houfflin-Debarge, V., Vaast, P., Closset, E., & Subtil, D. (2014). Ten practical issues concerning acute poisoning with carbon monoxide in pregnant women. *Journal de Gynecologie Obstetrique et Biologie de la Reproduction*, 43(4), 281–287. <https://doi.org/10.1016/j.jgyn.2013.03.002>
- Cakir, Z., Emet, M., Caner, I., Aslan, S., & Saritas, A. (2009). Case report of carbon monoxide poisoning in a pregnant patient: Mother died, baby survived. *Hong Kong Journal of Emergency Medicine*, 16(3), 176-178. <https://doi.org/10.1177/102490790901600310>

Centers for Disease Control and Prevention. (2022). *Carbon monoxide deaths after Hurricane Ida — Louisiana, August 29–September 9, 2021*. Morbidity and Mortality Weekly Report, 71(3), 81–85.

Centers for Disease Control and Prevention. (2022). *Carbon monoxide poisoning: Prevention guidelines*. <https://www.cdc.gov/co>

Centers for Disease Control and Prevention. (n.d.). *Carbon monoxide - IDLH*. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Retrieved from <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/630080.html>Κέντρα Ελέγχου και Πρόληψης Νοσημάτων

Chang, Y.-C., Lee, H.-Y., Huang, J.-L., Chiu, C.-H., Chen, C.-L., & Wu, C.-T. (2017). Risk factors and outcome analysis in children with carbon monoxide poisoning. *Pediatrics and Neonatology*, 58(2), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.pedneo.2016.03.007>

CT Insider. (2025, January 10). 'Dangerously high' carbon monoxide levels found in Somers home, fire chief says. Retrieved from <https://www.ctinsider.com/journalinquirer/article/somers-fire-department-carbon-monoxide-mountain-rd-19990414.phpctinsider.com>

Department for Levelling Up, Housing and Communities. (2022). *Safe and Warm Homes Programme Evaluation*.

Dong, H., Xue, M., Xiao, Y., & Liu, Y. (2021). Do carbon emissions impact the health of residents? Considering China's industrialization and urbanization. *Science of the total environment*, 758, 143688.

Dorey, A., Scheerlinck, P., Nguyen, H., & Albertson, T. (2020). Acute and chronic carbon monoxide toxicity from tobacco smoking. *Military Medicine*, 185(1-2), e61–e67. <https://doi.org/10.1093/milmed/usz280>

Ernst, A., & Zibrak, J. D. (2021). *Carbon monoxide poisoning*. New England Journal of Medicine, 385(23), 2195–2205.

European Centre for Disease Prevention and Control. (2023). *Carbon monoxide exposures during energy shortages: Risk mitigation in Europe*.

European Environment Agency. (2022). *Air quality in Europe — 2022 report*. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022>

Fan, R., Li, G., Cui, H., Song, J., & Wang, T. (2024). Organic photo-responsive carbon monoxide molecules and their therapeutic applications. *Guangzi Xuebao/Acta Photonica Sinica*, 53(3), Article 0317001. <https://doi.org/10.3788/gzxb20245303.0317001>

Federal Emergency Management Agency. (2023). *Generator Safety During Disasters*. <https://www.fema.gov>

- Federal Emergency Management Agency. (2023). *Safe generator use in emergencies*. <https://www.fema.gov>
- Gromke, C., & Ruck, B. (2018). *Influence of vegetation on urban air quality: Field and modeling studies*. *Atmospheric Environment*, 182, 1–9.
- Hampson, N. B., & Weaver, L. K. (2022). *Carbon monoxide poisoning: Pathophysiology, presentation, and management*. *Journal of Emergency Medicine*, 63(2), 135–147.
- Hampson, N. B., et al. (2020). *Carbon monoxide poisoning and hyperbaric oxygen therapy: A review*. *Undersea and Hyperbaric Medicine*, 47(4), 509–523.
- Health Canada. (2021). *CO Safe Winter campaign overview*. <https://www.canada.ca>
- Health Council of the Netherlands. (2019). *Health risks due to low concentrations of carbon monoxide*. The Hague: Health Council of the Netherlands. Retrieved from <https://www.healthcouncil.nl/documents/advisory-reports/2019/07/10/health-risks-due-to-low-concentrations-of-carbon-monoxide> Υγειονομικό Συμβούλιο Ολλανδίας
- Herath, P., Wimalasekera, S. W., Amarasekara, T. D., Fernando, M. S., & Turale, S. (2021). Adverse effects of cigarette smoking on exhaled breath carbon monoxide, blood carboxyhemoglobin, and hematological parameters amongst Sri Lankan adult tobacco smokers: A descriptive study. *Population Medicine*, 3, Article 27. <https://doi.org/10.18332/popmed/143076>
- International Energy Agency. (2022). *The Future of Heat Pumps*. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>
- Jin, J., Jiang, M., & Tian, Y. (2019). *Environmental education in primary schools: Impacts on household air quality practices*. *Environmental Health Perspectives*, 127(3), 037002
- Kabir, M., Habiba, U. E., Khan, W., Shah, A., Rahim, S., De los Rios-Escalante, P. R., ... & Shafiq, M. (2023). Climate change due to increasing concentration of carbon dioxide and its impacts on environment in 21st century; a mini review. *Journal of King Saud University-Science*, 35(5), 102693.
- Khalimova, D., Umarova, M., Oltiyev, E., Boltayeva, Z., Rakhmatullayev, A., & Teshayev, S. (2025). Environmental and medical consequences of smoking: Impact on the environment and human health. *E3S Web of Conferences*, 6147, 040042024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202561404004>
- Kumar, P., Singh, A. B., Arora, T., Singh, S., & Singh, R. (2023). Critical review on emerging health effects associated with the indoor air quality and its sustainable management. *Science of The Total Environment*, 872, 162163.
- Kwak, K., Kim, M., Choi, W. J., Ju, Y. S., & Park, J. T. (2021). Association between carbon monoxide intoxication and incidence of ischemic stroke: a retrospective nested

case-control study in South Korea. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 30(2), 105496.

Kwon, S., Park, J., & Lee, M. (2022). *Real-time monitoring of CO in underground infrastructure using IoT systems*. *Sensors*, 22(1), 153.

La Fauci, G., Weiser, G., Steiner, I. P., & Shavit, I. (2012). Carbon monoxide poisoning in narghile (water pipe) tobacco smokers. *Canadian Journal of Emergency Medicine*, 14(1), 57-59. <https://doi.org/10.2310/8000.2011.110431>

Li, X., Sun, S., & Zhou, Y. (2023). *Urban residential proximity to traffic and indoor CO exposure: A simulation-based analysis*. *Journal of Urban Health*, 100(1), 45–55.

Maga, M., Janik, M. K., Wachsmann, A., Chrzastek-Janik, O., Koziej, M., Bajkowski, M., Maga, P., Tyrak, K., Wójcik, K., Gregorczyk-Maga, I., & Nizankowski, R. (2017). Influence of air pollution on exhaled carbon monoxide levels in smokers and non-smokers: A prospective cross-sectional study. *Environmental Research*, 152, 496-502. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.10.027>

National Center for Biotechnology Information. (n.d.). *Carbon monoxide acute exposure guideline levels*. In *Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals*. Retrieved from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK220007/Εθνικό_Κέντρο_Πληροφοριών_Βιοτεχνολογίας+1Κέντρα_Ελέγχου_και_Πρόληψης_Νοσημάτων+1

National Fire Protection Association. (2022). *NFPA 720: Standard for the installation of carbon monoxide detection systems*.

Nazari, J., Dianat, I., & Stedmon, A. (2010). Unintentional carbon monoxide poisoning in Northwest Iran: A 5-year study. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 17(7), 388–391. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2010.08.003>

NIOSH. (2021). *Workplace Safety and Health Topics: Carbon Monoxide*. National Institute for Occupational Safety and Health. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/co/>

Occupational Safety and Health Administration. (2023). *Carbon monoxide exposure in the workplace*. <https://www.osha.gov>

Penney, D., Benignus, V., Kephelopoulos, S., Kotzias, D., Kleinman, M., & Verrier. (2010). Carbon monoxide. In *WHO guidelines for indoor air quality*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK138710/>

Prockop, L. D., & Chichkova, R. I. (2007). Carbon monoxide intoxication: An updated review. *Journal of the Neurological Sciences*, 262(1–2), 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2007.06.037>

Purbianto, P., & Khayan, K. (2022). Impact of exposure to carbon monoxide on COHb levels and health problems on swords and parking attendants in a parking area at the Bandar Lampung Market, Indonesia. *Universal Journal of Public Health*, 10(6), 576-580. <https://doi.org/10.13189/ujph.2022.100604>

- Quinn, A. K., Ae-Ngibise, K. A., Jack, D. W., Boamah, E. A., Enuameh, Y., Mujtaba, M. N., Chillrud, S. N., Wylie, B. J., Owusu-Agyei, S., Kinney, P. L., & Asante, K. P. (2016). Association of carbon monoxide exposure with blood pressure among pregnant women in rural Ghana: Evidence from GRAPHS. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 219(2), 176-183. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2015.10.004>
- Rabiee, H., Ge, L., Zhang, X., Hu, S., Li, M., & Yuan, Z. (2021). Gas diffusion electrodes (GDEs) for electrochemical reduction of carbon dioxide, carbon monoxide, and dinitrogen to value-added products: a review. *Energy & Environmental Science*, 14(4), 1959-2008.
- Raub, J. A., & Benignus, V. A. (2020). *Carbon monoxide and the nervous system*. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 118, 27–38.
- Rehman, A., Ma, H., Ozturk, I., & Ulucak, R. (2022). Sustainable development and pollution: The effects of CO₂ emission on population growth, food production, economic development, and energy consumption in Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-12.
- Riley, S., Chan, K. Y., & Tomlinson, B. (2023). *Syndromic surveillance for carbon monoxide poisoning during emergencies*. *Environmental Health*, 22(1), 101.
- Sahu, M., Yadav, A., & Jatav, R. (2023). *Ambient carbon monoxide and health: Evidence from Indian cities*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2), 216.
- Sakai, H., Kobayashi, N., Kure, T., & Azuma, H. (2022). Potential clinical application of hemoglobin vesicles as an artificial oxygen carrier and carbon monoxide carrier. In *Blood substitutes and oxygen biotherapeutics* (pp. 235–242). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95975-3_22
- Salicio, M. A., Mana, V. A. M., Fett, W. C. R., Gomes, L. T., & Botelho, C. (2016). Environmental variables and levels of exhaled carbon monoxide and carboxyhemoglobin in elderly people taking exercise. *Ciencia e Saude Coletiva*, 21(4), 1023-1032. <https://doi.org/10.1590/1413-81232015214.14502015>
- Savioli, G., Gri, N., Ceresa, I. F., Piccioni, A., Zanza, C., Longhitano, Y., Ricevuti, G., Daccò, V., Manzoli, L., & Punzi, L. (2021). The relationship between indoor air pollution and exhaled carbon monoxide levels in asthma patients. *Environmental Health Perspectives*, 129(2), 26005. <https://doi.org/10.1289/EHP6864>
- Schmidt, C. W., et al. (2021). *The health aftermath of the Texas power outage: Carbon monoxide's deadly cost*. *Environmental Health News*.
- Tabian, D., Bulgaru Iliescu, D., Iov, T., Barna, B., Toma, S. I., & Drochioiu, G. (2021). Hydrogen cyanide and carboxyhemoglobin assessment in an open space fire-related fatality. *Journal of Forensic Sciences*, 66(3), 1171–1175. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14649>

- Tan, Q., Ding, Y., Zheng, J., Dai, M., & Zhang, Y. (2021). The effects of carbon emissions trading and renewable portfolio standards on the integrated wind–photovoltaic–thermal power-dispatching system: Real case studies in China. *Energy*, 222, 119927.
- Thom, S. R., Bhopale, V. M., & Milovanova, T. N. (2019). *Hyperbaric oxygen therapy for carbon monoxide poisoning: Mechanisms and efficacy*. *Toxicology Letters*, 313, 197–202.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2024, December 4). *What is the average level of carbon monoxide in homes?* Retrieved from <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/what-average-level-carbon-monoxide-homes>US EPA+1US EPA+1
- U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). *Carbon monoxide's impact on indoor air quality*. Retrieved from <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/carbon-monoxides-impact-indoor-air-quality>US EPA+1US EPA+1
- U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). *National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) for carbon monoxide (CO)*. Retrieved from <https://www.epa.gov/co-pollution/national-ambient-air-quality-standards-naaqs-carbon-monoxide-co>US EPA
- Verywell Health. (n.d.). *How to test for carbon monoxide and diagnose CO poisoning*. Retrieved from <https://www.verywellhealth.com/carbon-monoxide-poisoning-diagnosis-4161054>Verywell Health+1Verywell Health+1
- Vural, A., Dolanbay, T., Ozcelik, M., Ozturun, Z. Y., Ardic, N., & Altay, M. C. (2024). Biochemical parameters and clinical outcomes of carbon monoxide poisoning in special groups: Children, pregnant women, and the elderly. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 28(11), 3711-3724. https://doi.org/10.26355/eurev_202406_36376
- Weaver, L. K., Deru, K., & Churchill, S. (2020). *Long-term neurocognitive outcomes of carbon monoxide poisoning*. *Clinical Toxicology*, 58(8), 742–751.
- Wen, T., Liang, J., Wei, Y., Lin, W., & Pan, L. (2024). Analysis of prognosis of neurological sequelae in children with carbon monoxide poisoning. *Scientific Reports*, 14(1), 29972. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81634-1>
- Wikipedia contributors. (2025, February 5). *Carbon monoxide poisoning*. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_monoxide_poisoningWikipedia
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization.
- Wu, H., Field, K., & Williams, R. (2021). *Socioeconomic disparities in residential carbon monoxide alarm ownership*. *Public Health Reports*, 136(2), 185–193.

- Yarar, C. (2009). Νευρολογικές επιδράσεις της οξείας δηλητηρίασης από CO σε παιδιά. *Journal of Pediatric Sciences*, 1. <https://doi.org/10.17334/jps.85777>
- Zaragoza, L. A., Luque, E. C., Sánchez Torres, D. Á., Alguacil, C. E., Sánchez Roldán, S. d. P., & de la Fuente, M. P. (2021). Carbon monoxide poisoning in pregnant women: A case report. *Ginecologia y Obstetricia de Mexico*, 89(11), 891-897. <https://doi.org/10.24245/gom.v89i11.5511>
- Zhang, L., Wang, Y., & Li, J. (2020). *Effectiveness of emission reduction policies on carbon monoxide pollution in China*. *Atmospheric Pollution Research*, 11(4), 604–612
- Zhou, X., Zhou, X., Wang, C., & Zhou, H. (2023). Environmental and human health impacts of volatile organic compounds: A perspective review. *Chemosphere*, 313, 137489.
- Ziaei, S., Nouri, K., & Kazemnejad, A. (2005). Effects of carbon monoxide air pollution in pregnancy on neonatal nucleated red blood cells. *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, 19(1), 27-30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3016.2004.00619.x>