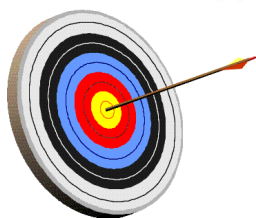


κεφάλαιο 2

Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων



Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού θα πρέπει να είστε σε θέση:

- ✓ Να ορίζετε τη μέση τιμή, την ακρίβεια, το απόλυτο και σχετικό σφάλμα, την επαναληψιμότητα και την τυπική απόκλιση.
- ✓ Να ερμηνεύετε τις έννοιες συστηματικά και τυχαία σφάλματα.
- ✓ Να αναφέρετε τα σφάλματα που εμφανίζονται κατά την εφαρμογή μιας μεθόδου ποσοτικής ανάλυσης και τις αιτίες που τα προκαλούν.
- ✓ Να αναφέρετε τις τεχνικές διόρθωσης των συστηματικών σφαλμάτων.
- ✓ Να συμπεραίνετε την αναγκαιότητα εφαρμογής πολλών μετρήσεων για το ίδιο δείγμα.
- ✓ Να εκτιμάτε τη σημασία των σημαντικών ψηφίων.
- ✓ Να ορίζετε τα σημαντικά ψηφία ενός αριθμού.
- ✓ Να καθορίζετε τον απαιτούμενο αριθμό σημαντικών ψηφίων για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων ποσοτικής ανάλυσης και να αιτιολογείτε την επιλογή τους.
- ✓ Να εκτελείτε μαθηματικούς υπολογισμούς και να επιλέγετε τον αριθμό σημαντικών ψηφίων στο τελικό αποτέλεσμα.
- ✓ Να αξιολογείτε τα αποτελέσματα ποσοτικής ανάλυσης.
- ✓ Να παρουσιάζετε σωστά τα αποτελέσματα ποσοτικής ανάλυσης.
- ✓ Να κατασκευάζετε διαγράμματα και πίνακες για την πληρέστερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων.
- ✓ Να καταλήγετε σε τεκμηριωμένα συμπεράσματα και να απαντάτε στα αναλυτικά προβλήματα με σαφήνεια και επιστημονική ακρίβεια.

*Η «πραγματική» τιμή
μιας μέτρησης δεν είναι ποτέ
επακριβώς γνωστή.*

Κάποια εργαστηριακά σφάλματα είναι περισσότερο προφανή από άλλα, αλλά υπάρχει πάντοτε κάποιο σφάλμα συνδεδεμένο με κάθε μέτρηση. Όταν μια ανάλυση εργαστηρίου μας πληροφορήσει, για παράδειγμα, ότι ο κύριος Χ. είναι έγκυος, πρόκειται προφανώς περί λάθους.

Τα λάθη είναι αποτελέσματα απροσεξίας αυτού που εκτελεί την ανάλυση και μπορούν να αποφευχθούν, αν η ανάλυση εκτελεσθεί σωστά.

Από την άλλη, **τα σφάλματα** συνοδεύουν οποιοδήποτε αναλυτικό αποτέλεσμα. Δεν υπάρχει τρόπος να μετρήσουμε την «πραγματική» τιμή κάποιου μεγέθους. Το καλύτερο που μπορούμε να κάνουμε είναι να εφαρμόσουμε προσεκτικά μια τεχνική, την οποία η εμπειρία μας λέει ότι είναι αξιόπιστη. Η επανάληψη των μετρήσεων αρκετές φορές μας δίνει στοιχεία για την επαναληπτικότητα των μετρήσεων. Μετρώντας την ίδια ποσότητα με διαφορετική μέθοδο μπορούμε να θεωρήσουμε ότι είμαστε κοντά στην πραγματική τιμή της μέτρησης (ακρίβεια), αν τα αποτελέσματα συμφωνούν μεταξύ τους.

Δυστυχώς δεν υπάρχει κάποια απλή και εύκολα εφαρμόσιμη μέθοδος υπολογισμού της αξιοπιστίας των δεδομένων με απόλυτη βεβαιότητα. Η αξιολόγηση των πειραματικών δεδομένων είναι εξίσου σημαντική με την απόκτηση αυτών των πειραματικών δεδομένων. Η αξιοπιστία των πειραματικών δεδομένων μπορεί να αυξηθεί με αρκετούς τρόπους. Τα πειράματα σχεδιάζονται προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται τα λάθη. Αναλύονται δείγματα γνωστής συγκέντρωσης, ώστε να ελεγχθούν τα αποτελέσματα και να συγκριθούν με τα πραγματικά. Συμβουλευόμαστε την βιβλιογραφία της αναλυτικής χημείας για να ελέγξουμε την ορθότητα της μεθόδου. Ρυθμίζουμε προσεκτικά τα χρησιμοποιούμενα όργανα. Κάνουμε στατιστική, αλλά και λογική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Εκτελούμε προσεκτικά την ανάλυσή μας και καταγράφουμε σωστά τις λαμβανόμενες τιμές. Τέλος θέτουμε εξ αρχής το ερώτημα: ποιο το μέγιστο λάθος που μπορούμε να ανεχθούμε στα αποτελέσματά μας; Η απάντηση στο ερώτημα αυτό καθορίζει και το χρόνο της απαιτούμενης εργασίας. Για παράδειγμα, αν αυξήσουμε των αριθμό των εκτελούμενων μετρήσεων σε

είκοσι ή σε σαράντα θα έχουμε αύξηση στην ακρίβεια της ανάλυσης αλλά θα έχουμε και μεγάλη απώλεια χρόνου. *Κανείς δεν έχει σήμερα την πολυτέλεια να θυσιάζει χρόνο για να αποκτήσει αποτελέσματα πιο ακριβή από όσο είναι απαραίτητο.*

2.1 Μέτρα αξιοπιστίας των αναλύσεων.

Οι χημικοί λαμβάνουν συνήθως δύο ως πέντε όμοια μέρη από το δείγμα (replicates), τα οποία επεξεργάζονται με την ίδια αναλυτική μέθοδο. Τα αποτελέσματα σε κάθε δείγμα της ομάδας σπάνια συμπίπτουν μεταξύ τους, έτσι μια κεντρική ή «σωστότερη» τιμή χρησιμοποιείται ως τελική τιμή της ομάδας. Κατ' αρχάς η κεντρική αυτή τιμή είναι πιο αξιόπιστη από οποιαδήποτε μεμονωμένη τιμή και δεύτερον η ποικιλία των δεδομένων μας δίνει ένα μέτρο της αβεβαιότητας που συνδέεται με κάθε κεντρικό αποτέλεσμα. Συνήθως ως τέτοια κεντρική ή σωστότερη τιμή χρησιμοποιείται η **μέση τιμή**.

2.1- Α Η Μέση Τιμή

Η μέση τιμή ή ο αριθμητικός μέσος ή ο μέσος όρος (χμ) είναι ίση με την ποσότητα που αποκτάται, αν διαιρέσουμε το άθροισμα των τιμών στα όμοια μέρη δείγματος δια του αριθμού των μετρήσεων ή αλλιώς δια του αριθμού των δειγμάτων.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

$i=1, 2, 3, \dots, N$

Όπου x_i αντιπροσωπεύει τη μεμονωμένη τιμή που παίρνουμε σε κάθε ένα από τα N όμοια μέρη του δείγματος στα οποία εκτελείται ο προσδιορισμός.

Όμοια μέρη δείγματος (replicates) είναι δείγματα περίπου του ίδιου μεγέθους που αναλύονται με τον **ίδιο ακριβώς** τρόπο.

Το σύμβολο $\sum_{i=1}^N x_i$ σημαίνει ότι προσθέτουμε όλες τις τιμές x_i για τα όμοια μέρη του δείγματος, δηλ.

$$\sum_{i=1}^N x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_N$$

Μέρη ανά εκατομμύριο (ppm ή parts per million)

20 ppm σιδήρου (III) σημαίνει 20 μέρη βάρους σιδήρου (III) ανά ένα εκατομμύριο μέρη βάρους του διαλύματος.

Παράδειγμα 1ο:

Από ένα υδατικό διάλυμα γνωστής συγκέντρωσης που περιέχει 20 ppm σιδήρου (III) λαμβάνουμε έξι όμοια μέρη (replicates), τα οποία επεξεργαζόμαστε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο και στα οποία παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα:

Δείγμα	ppm σιδήρου (III)
1	19,4
2	19,5
3	19,6
4	19,8
5	20,1
6	20,3

Για να υπολογίσουμε τη μέση τιμή x_{μ} του δείγματος σύμφωνα με τα ανωτέρω:

$$x_{\mu} = \frac{19,4 + 19,5 + 19,6 + 19,8 + 20,1 + 20,3}{6}$$

Άρα

$$x_{\mu} = 19,8 \text{ ppm Fe}$$

Περίπου 19,8 ppm Fe.

2.1- Β Επαναληπτικότητα

Η επαναληπτικότητα εκφράζει πόσο κοντά είναι τα δεδομένα που αποκτήθηκαν με τον ίδιο ακριβώς τρόπο.

Η επαναληπτικότητα (precision) ορίζεται ως ο βαθμός συμφωνίας μεταξύ των τιμών που λαμβάνονται από όμοια δείγματα της ίδιας ποσότητας.

Αν οι τιμές λαμβάνονται κάτω από τις ίδιες ακριβώς συνθήκες (ίδιος χειριστής, ίδια συσκευή, ίδιο εργαστήριο κλπ) ο όρος επαναληπτικότητα (precision) ταυτίζεται με τον όρο επαναληψιμότητα (repeatability).

Αν οι τιμές λαμβάνονται σε διαφορετικές συνθήκες (διαφορετικοί χειριστές, διαφορετικές συσκευές, διαφορε-

τικά εργαστήρια, σε διαφορετικούς χρόνους), η επαναληπτικότητα εκφράζεται ως αναπαραγωγιμότητα (reproducibility).

Γενικά η επαναληπτικότητα της μεθόδου υπολογίζεται εύκολα αν απλώς επαναλάβουμε τις μετρήσεις μας αρκετές φορές.

Ως μέτρο ελέγχου της επαναληπτικότητας μιας σειράς μετρήσεων θεωρούμε την απόκλιση από τη μέση τιμή, η οποία ορίζεται :

$$\text{απόκλιση από τη μέση τιμή} = d_i = |x_i - x_{\mu}|$$

Όπου x_i αντιπροσωπεύει τη μεμονωμένη τιμή που παίρνουμε σε κάθε ένα από τα N όμοια μέρη του δείγματος στα οποία εκτελείται ο προσδιορισμός και x_{μ} είναι η μέση τιμή που υπολογίζουμε για τη συγκεκριμένη σειρά μετρήσεων.

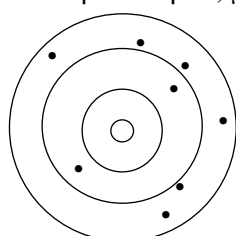
2.1- Γ Ακρίβεια

Η ακρίβεια (accuracy) ορίζεται ως ο βαθμός συμφωνίας μεταξύ της τιμής που μετρήθηκε και της πραγματικής τιμής. Η απόλυτα σωστή τιμή, όμως, σπάνια μας είναι γνωστή. Για το λόγο αυτό ως πιο ρεαλιστικός ορισμός της ακρίβειας θα ήταν: ο βαθμός συμφωνίας της τιμής που μετρήθηκε με αυτή που δεχόμαστε ως πραγματική.

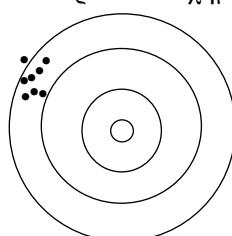
Γενικά, η ακρίβεια μιας αναλυτικής μεθόδου περιγράφει την ορθότητα ενός αναλυτικού αποτελέσματος.

Η καλή επαναληπτικότητα μιας μεθόδου δε σημαίνει ότι αυτή είναι οπωσδήποτε ακριβής. Τα ακριβή αποτελέσματα είναι, συνήθως, επαναλήψιμα, ενώ δεν ισχύει το αντίθετο.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα τους όρους «ακρίβεια» και «επαναληπτικότητα», μελετούμε τα παρακάτω σχήματα:

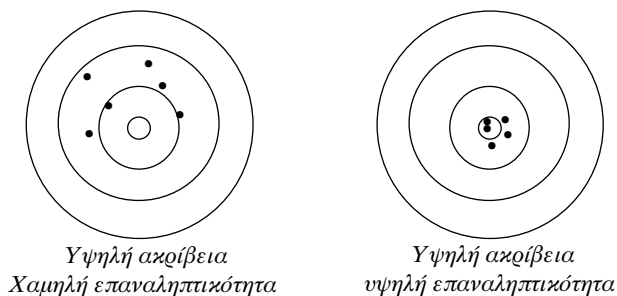


Χαμηλή ακρίβεια
χαμηλή επαναληπτικότητα



Χαμηλή ακρίβεια
υψηλή επαναληπτικότητα

Η ακρίβεια εκφράζει πόσο κοντά είναι η το αποτέλεσμα στην πραγματική ή αυτή την τιμή που δεχόμαστε ως πραγματική.



Σχήμα:2. 1

Ακρίβεια και επαναληπτικότητα

Συμπερασματικά η αξιοπιστία (reliability) μας ανα - λυτικής μεθόδου εκφράζεται με τους όρους ακρίβεια και επαναληπτικότητα.

Η καλή επαναληπτικότητα - τα δεν εγγνύεται και την ακρί - βεια των αποτελεσμάτων.

Ως μέτρα αξιοπιστίας χρησιμοποιούνται το απόλυτο και σχετικό σφάλμα, η τυπική απόκλιση, η σχετική τυπ - κή απόκλιση, η τυπική απόκλιση του μέσου όρου, ο συντελεστής διασποράς και η διασπορά ή διακύμανση.

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τους όρους απόλυτο σφάλμα, σχετικό σφάλμα και την τυπική απόκλιση.

2.1- Δ Απόλυτο σφάλμα

Η έννοια του όρου «από - λυτος» εδώ διαφέρει από την έννοια του όρου στα μαθημα - τικά. Στα μαθηματικά η από - λυτη τιμή είναι ίση με τον αριθμό χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το πρόσημό του. Στην ποσοτική ανάλυση το απόλυ - το σφάλμα είναι η διαφορά μεταξύ της πειραματικής τιμής και της παραδεκτής ως πραγματικής τιμής συμπερι - λαμβανομένου και του πρό - σημου της διαφοράς.

Ως απόλυτο σφάλμα E (absolute error) ορίζεται η δια - φορά μεταξύ της τιμής που μετρήθηκε x_i και της πραγματι - κής τιμής $x_{\pi\sigma}$ (ή αυτής που λαμβάνεται ως πραγματική) λαμ - βανομένου υπόψη και του πρόσημου της διαφοράς και εκφράζεται με τις ίδιες μονάδες με την τιμή που μετρήθηκε.

$$E = x_i - x_{\pi\sigma}$$

2.1- E Σχετικό σφάλμα

Συχνά το σχετικό σφάλμα $E_{\sigma\chi}$ είναι πιο χρήσιμο από το απόλυτο σφάλμα. Το επί τοις εκατό σχετικό σφάλμα δίνε - ται από τον τύπο:

$$E_{\text{ox}} = \frac{x_i - x_{\text{tp}}}{x_{\text{tp}}} \times 100\%$$

Το σχετικό σφάλμα εκφράζεται επίσης και σαν μέρος ανά χιλιάδα (ppt).

Για να υπολογίσουμε το σχετικό σφάλμα του δείγματος στο παράδειγμα 1 σύμφωνα με τα ανωτέρω:

$$E_{\text{ox}} = \frac{19,8 - 20}{20} \times 100\% = -1\%$$

$$\text{Άρα } E_{\text{ox}} = -1\%$$

2.1- ΣΤ Τυπική Απόκλιση

Κάθε ομάδα αναλυτικών αποτελεσμάτων πρέπει να συνοδεύεται και από ένα δείκτη της επαναληπτικότητας των αναλύσεων.

Σαν έναν τέτοιο δείκτη χρησιμοποιούμε την τυπική απόκλιση S, η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{\mu})^2}{N - 1}}$$

Όπου Σ σημαίνει το άθροισμα όλων των τιμών, $x_i - x_{\mu}$ μας δίνει τη διαφορά κάθε μέτρησης από την μέση τιμή και N είναι ο αριθμός των πραγματοποιηθέντων μετρήσεων.

Η σχέση αυτή για την τυπική απόκλιση εφαρμόζεται για μικρό σχετικά αριθμό μετρήσεων.

Συχνά χρησιμοποιείται και ο όρος σχετική τυπική απόκλιση, που είναι η τυπική απόκλιση εκπεφρασμένη ως επί τοις εκατό ποσοστό του μέσου όρου.

$$\frac{S}{x_{\mu}} \times 100\%$$

Το **σχετικό σφάλμα** μιας μέτρησης είναι το πηλίκο του απόλυτου σφάλματος δια της πραγματικής τιμής (ή αυτής που δεχόμαστε ως πραγματική).

Ο τύπος αυτός ορίζει:

1. Βρες τις αποκλίσεις από το Μέσο Όρο
2. Ύψωσε τις αποκλίσεις στο τετράγωνο
3. Άθροισε τα τετράγωνα
4. Διάρρησε το άθροισμα δια του N-1
5. Πάρε την τετραγωνική ρίζα του πηλίκου αυτού

Η ποσότητα N-1 καλείται και αριθμός των βαθμών ελευθερίας.

όπου:

N

$$x_i = x_1 + \dots + x_N$$

i=1

N

$$(x_i - x_{\mu}) = (x_1 - x_{\mu}) + \dots + (x_N - x_{\mu})$$

N

$$(x_i - x_{\mu})^2 = (x_1 - x_{\mu})^2 + \dots + (x_N - x_{\mu})^2$$

i=1

Παράδειγμα 2ο :

Υπολογίστε το μέσο όρο και την τυπική απόκλιση της ακόλουθης ομάδας αναλυτικών αποτελεσμάτων: 15,67g, 15,69g, 16,03 g .

ΛΥΣΗ:

x_i	$x_i - x_{\mu}$	$(x_i - x_{\mu})^2$
15,67	0,13	0,0169
15,69	0,11	0,0121
16,03	0,23	0,0529
$\sum_{i=1}^N x_i$ 47,39	$\sum_{i=1}^N (x_i - x_{\mu})$ 0,47	$\sum_{i=1}^N (x_i - x_{\mu})^2$ 0,0819

$$x_{\mu} = \frac{47,39}{3} = 15,80 \text{ g}$$

$$S = \sqrt{\frac{0,0819}{3-1}} = 0,20\text{g}$$

Παράδειγμα 3ο :

Σε μια σειρά ζυγίσεων πήραμε τις ακόλουθες τιμές:
29,8 mg, 30,2 mg, 28,6 mg και 29,7 mg.

Υπολογίστε την τυπική απόκλιση και εκφράστε τη σε απόλυτη και σχετική τιμή.

ΛΥΣΗ:

x_i	$x_i - x_{\mu}$	$(x_i - x_{\mu})^2$
29,8	0,2	0,04
30,2	0,6	0,36
28,6	1,0	1,00
29,7	0,1	0,01
$\sum_{i=1}^N x_i$ 118,3	$\sum_{i=1}^N (x_i - x_{\mu})$ 1,9	$\sum_{i=1}^N (x_i - x_{\mu})^2$ 1,41

$$x_{\mu} = \frac{118,3}{4} = 29,6$$

$$S = \sqrt{\frac{1,41}{4-1}} = 0,69mg$$

ή σχετική τυπική απόκλιση

$$\frac{0,69}{29,6} \times 100\% = 2,3\%$$

2.2 Σφάλματα στην ποσοτική ανάλυση.

Δύο κύριες κατηγορίες σφαλμάτων μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια ή την επαναληπτικότητα μιας σειράς μετρήσεων: τα συστηματικά και τα τυχαία σφάλματα.

Συστηματικά ή καθορισμένα σφάλματα (systematic ή determinate errors) είναι εκείνα που όπως δείχνει και το όνομά τους μπορούν να ορισθούν και πιθανόν μπορούν είτε να αποφευχθούν είτε να διορθωθούν.

Τα συστηματικά σφάλματα μπορούν να είναι **σταθερά (constant)**, όπως στην περίπτωση μιας ζύγισης χωρίς προηγουμένως να έχει ρυθμιστεί ο ζυγός, οπότε το ίδιο λάθος εμφανίζεται σε όλες τις ζυγίσεις ή **αναλογικά (proportio-**

Τα συστηματικά σφάλματα - τα επέρχονται όταν κάποιος παράγοντας είναι λάθος στη μέτρηση.

Τα σταθερά σφάλματα είναι ανεξάρτητα από το μέγεθος του δείγματος.

Τα αναλογικά σφάλματα αυξάνονται ή ελαττώνονται σε σχέση με το μέγεθος του δείγματος.

Τα συστηματικά σφάλμα -
τα επηρεάζουν την ακρίβεια
της μεθόδου.

Βαθμονόμηση είναι ο
έλεγχος της απόδοσης ενός
οργάνου (και πιθανόν η ανα -
γκαία διόρθωσή του) για να
εξασφαλιστεί η ακρίβεια των
μετρήσεων που εκτελούνται
με το όργανο.

nal) δηλαδή να αυξάνονται ανάλογα με το μέγεθος του δείγματος ή ακόμη μπορεί να αλλάζουν με κάποιο πιο περίπλοκο τρόπο. Μπορεί ακόμη να εμφανίζονται τυχαία, όπως στην περίπτωση αλλαγής του όγκου του διαλύματος και μεταβολής της συγκέντρωσης με την αλλαγή της θερμοκρασίας. Αυτά μπορούν να διορθωθούν με τη μέτρηση της θερμοκρασίας του δείγματος. Τέτοια μετρήσιμα υπολογιστικά σφάλματα κατατάσσονται σαν συστηματικά σφάλματα.

Κατηγορίες συστηματικών σφαλμάτων και τρόποι διόρθωσής αυτών.

Τα συστηματικά σφάλματα ανάλογα με την αιτία που τα προκαλεί διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

Σφάλματα οργάνων. Οφείλονται, συνήθως, σε κατασκευαστικές ατέλειες ή σε κακή βαθμονόμηση των οργάνων και σκευών.

Διορθώνονται (για την ακρίβεια περιορίζονται) με σωστή και προσεκτική βαθμονόμηση του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού.

Σφάλματα μεθόδου. Οφείλονται, κυρίως, σε μη ιδανική χημική και φυσική συμπεριφορά των αντιδραστηρίων και αντιδράσεων. Τα σφάλματα μεθόδου είναι συχνά δύσκολο να ανιχνευθούν και έτσι είναι η πιο σοβαρή από τις πηγές συστηματικών σφαλμάτων. Αρκετά από αυτά είναι δυνατό να ελαχιστοποιηθούν ή να εξαλειφθούν, αλλά σφάλματα που ενυπάρχουν στη μέθοδο δεν μπορούν να αλλάξουν εκτός αν οι όροι υπολογισμού μεταβληθούν.

Πολλές φορές η διόρθωσή τους είναι σχετικά απλή, όπως για παράδειγμα η εκτέλεση ενός υπολογισμού σε τυφλό δείγμα, όπου υπάρχουν όλα τα αντιδραστήρια εκτός από την ουσία που προσδιορίζουμε. Είναι συνήθης τακτική να εκτελούνται τέτοιοι τυφλοί προσδιορισμοί και να αφαιρείται το αποτέλεσμα που δίνουν αυτοί από την μέτρηση που δίνει το δείγμα.

Για να κρίνουμε τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο, συχνά εκτελούμε τον προσδιορισμό με κάποια άλλη αναλυτική μέθοδο και συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε.

Επίσης για να κρίνουμε τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο,

συχνά εκτελούμε τον προσδιορισμό σε δείγματα γνωστής συγκέντρωσης και ελέγχουμε την ορθότητα των μετρήσεων.

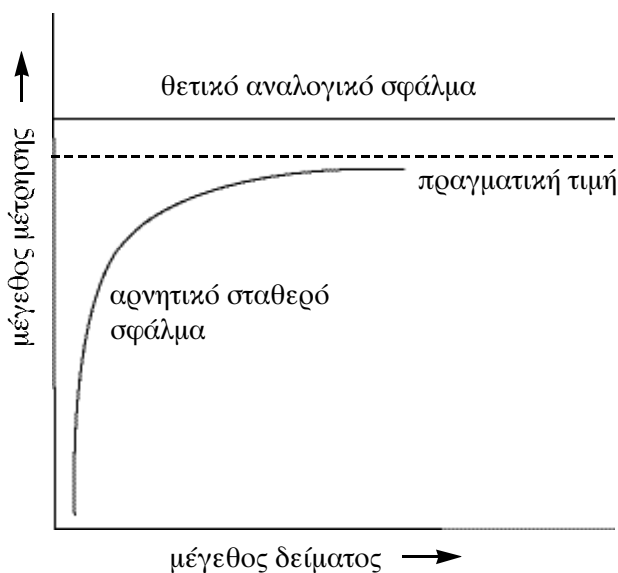
Τέλος αλλάζουμε το μέγεθος το χρησιμοποιούμενο δείγματος, ώστε να ανιχνεύσουμε κυρίως τα σταθερά σφάλματα.

Όταν τα σφάλματα μεθόδου είναι μη ανεκτά, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποια άλλη μέθοδος.

Σφάλματα χειριστού ή προσωπικά σφάλματα . Οφείλονται σε αδυναμία του αναλυτή να παρατηρεί και να εκτελεί σωστά το πείραμα ή σε προσωπικά λάθη που συμβαίνουν τυχαία.

Ελαττώνονται με την αύξηση της εμπειρίας και της προσοχής του αναλυτή.

Στο κατωτέρω σχήμα φαίνεται η επίδραση του σταθερού και του αναλογικού σφάλματος στην υπολογιζόμενη τιμή για τη συγκέντρωση ενός διαλύματος.



Σχήμα 2.2: Στο σχήμα φαίνονται τα αποτελέσματα του σταθερού και αναλογικού σφάλματος σε μια μέτρηση συγκέντρωσης.

Από τις τρεις κατηγορίες σφαλμάτων, τα σφάλματα μεθόδου είναι συνήθως τα πιο δύσκολα να ανιχνευθούν και να διορθωθούν.

Τα συστηματικά σφάλματα - τα μπορεί να προστίθενται ή να πολλαπλασιάζονται, ανάλογα με τη φύση του λάθους και αυτό να υπεισέρχεται στους υπολογισμούς.