Περιεχόμενα

Σημείωμα συγγραφικής ομάδας xiii

1 Πιθανότητες και Στατιστική: μεταβαίνοντας από την αβεβαιότητα στη γνώση 1
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων 1
1.1 Οι Πιθανότητες και η Στατιστική στην καθημερινή μας ζωή 1
1.2 Βάζοντας τάξη στο χάος 2
1.2.1 Περιγράφοντας την αβεβαιότητα 3
1.2.2 Αποκαλύπτοντας τις αλήθειες που κρύβουν τα δεδομένα 7
1.2.3 Γενικεύοντας τα συμπεράσματα 10
1.3 Πεδία εφαρμογής και μελέτες περιπτώσεων 12
1.3.1 Στην επιστήμη του Μηχανικού 13
1.3.1.1 Κατασκευές 13
1.3.1.2 Μηχανική Περιβάλλοντος 13
1.3.1.3 Ενέργεια 14
1.3.1.4 Συγκοινωνίες και Μεταφορές 15
1.3.1.5 Υδρολογία 15
1.3.1.6 Αεροναυπηγική 16
1.3.1.7 Σχεδιασμός & Παραγωγή 16
1.3.1.8 Άλλα πεδία στην επιστήμη του Μηχανικού 17
1.3.2 Στην Ιατρική επιστήμη 18
1.3.2.1 Επιδημιολογία 18
1.3.2.2 Κλινικές Μελέτες 18
1.3.2.3 Γενετική και Γονιδιωματική 19
1.3.2.4 Απεικονιστικές εξετάσεις και Διαγνωστική 19
1.3.3 Σε άλλα επιστημονικά πεδία 20
1.3.3.1 Αθλητισμός 20
1.3.3.2 Διαφήμιση 21
1.3.3.3 Οικονομική Διαχείριση 21
1.4 Σύνοψη και επόμενα κεφάλαια 22
1.5 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης 24

2 Βασικά στοιχεία πιθανοτήτων: Αγκαλιάζοντας την αβεβαιότητα 27
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων 27
2.1 Εισαγωγή 27
2.2 Κατανοώντας τις θεμελιώδεις έννοιες των πιθανοτήτων 29
2.2.1 Βασικές έννοιες 29
2.2.2 Ορισμοί πιθανότητας 32
2.2.2.1 Κλασικός ορισμός πιθανότητας 32
2.2.2.2 «Στατιστικός» ορισμός της πιθανότητας 36
2.2.2.3 Αξιωματικός ορισμός της πιθανότητας 37
2.2.3 Ιδιότητες πιθανοτήτων 38

2.2.4 Δεσμευμένη πιθανότητα - Ανεξαρτησία ενδεχομένων . . . 46
2.2.5 Θεώρημα Ολικής Πιθανότητας και Θεώρημα Bayes . . . 57
2.3 Συνδυαστική . . . 65
2.3.1 Αρχές απαρίθμησης . . . 65
2.3.2 Διατάξεις-Μεταθέσεις-Συνδυασμοί . . . 67
2.4 Κλασικά προβλήματα πιθανοτήτων . . . 71
2.4.1 Το πρόβλημα των γενεθλίων . . . 71
2.4.2 Παίζοντας πόκερ . . . 74
2.4.3 Ο Γαλιλαίος και τα τρία ζάρια . . . 77
2.4.4 Το πρόβλημα κατανομής των στοιχημάτων . . . 77
2.4.5 Το μεγάλο παζάρι . . . 79
2.5 Ασκήσεις . . . 80
2.6 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 83

3 Τυχαίες μεταβλητές και τυχαία διανύσματα: βάζοντας τάξη στην αταξία 91
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων . . . 91
3.1 Εισαγωγή . . . 91
3.2 Τυχαία μεταβλητή και Τυχαίο διάνυσμα μεταβλητών . . . 94
3.2.1 Τυχαίο διάνυσμα – πολυδιάστατη τυχαία μεταβλητή . . . 95
3.2.2 Μετροθεωρητικοί ορισμοί τυχαίας μεταβλητής και τυχαίου διανύσματος . . . 96
3.3 Συνάρτηση κατανομής . . . 97
3.3.1 Παραδείγματα εύρεσης συνάρτηση κατανομής . . . 98
3.3.2 Περιθώριες κατανομές . . . 102
3.3.3 Βασικές ιδιότητες συναρτήσεων κατανομών . . . 103
3.4 Διακριτές τυχαίες μεταβλητές . . . 110
3.4.1 Επέκταση στα διακριτά τυχαία διανύσματα . . . 115
3.4.2 Περιθώριες και δεσμευμένες κατανομές . . . 117
3.5 Συνεχείς τυχαίες μεταβλητές . . . 119
3.5.1 Επέκταση στα συνεχή τυχαία διανύσματα . . . 124
3.6 Ασκήσεις . . . 127
3.7 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 131

4 Χαρακτηριστικά τυχαίων μεταβλητών: ανακαλύπτοντας τα μυστικά της αβεβαιότητας 137
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων . . . 137
4.1 Εισαγωγή . . . 137
4.2 Χαρακτηριστικά μέτρα τυχαίων μεταβλητών . . . 138
4.2.1 Μέτρα θέσης . . . 138
4.2.1.1 Αναμενόμενη τιμή (Μαθηματική ελπίδα ή μέση τιμή) . . . 138
4.2.1.2 Ροπές και ροπογεννήτρια συνάρτηση. . . . 144
4.2.1.3 Κορυφή ή επικρατούσα τιμή . . . 148
4.2.1.4 Ποσοστιαία σημεία –διάμεσος . . . 148
4.2.2 Μέτρα διασποράς και συνδιασποράς . . . 149
4.2.2.1 Εύρος και ενδοτεταρτημοριακό εύρος . . . 149
4.2.2.2 Διακύμανση ή διασπορά-Τυπική απόκλιση . . . 150
4.2.2.3 Συνδιασπορά ή συνδιακύμανση . . . 155
4.2.2.4 Συντελεστής συσχέτισης. . . . 160
4.2.3 Μέτρα σχήματος . . . 163
4.3 Ασκήσεις . . . 166
4.4 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 168

5 Στοχαστική ανεξαρτησία και μετασχηματισμοί: η δομή των κατανομών 171
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων . . . 171
5.1 Εισαγωγή . . . 171
5.2 Η έννοια της στοχαστικής ανεξαρτησίας . . . 172
5.3 Κατανομή συνάρτησης τυχαίας μεταβλητής . . . 178
5.3.1 Μέθοδος ροπογεννήτριας . . . 179
5.3.2 Μέθοδος της συνάρτησης κατανομής . . . 181
5.3.3 Μέθοδος μετασχηματισμού . . . 182
5.4 Κατανομές συναρτήσεων τυχαίων μεταβλητών . . . 185
5.4.1 Μέθοδος ροπογεννήτριας . . . 186
5.4.2 Μέθοδος της συνάρτησης κατανομής . . . 187
5.4.3 Μέθοδος μετασχηματισμού . . . 189
5.5 Ασκήσεις . . . 194
5.6 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 198

6 Ειδικές διακριτές κατανομές: κατανοώντας τη διακριτή αβεβαιότητα 201
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων . . . 201
6.1 Εισαγωγή . . . 201
6.2 Διακριτή ομοιόμορφη κατανομή . . . 202
6.2.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά διακριτής ομοιόμορφης κατανομής . . . 204
6.2.2 Τυπική διακριτή ομοιόμορφη κατανομή . . . 207
6.3 Κατανομή Bernoulli . . . 211
6.3.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά κατανομής Bernoulli . . . 212
6.4 Διωνυμική κατανομή . . . 214
6.4.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά της διωνυμικής κατανομής . . . 219
6.5 Γεωμετρική κατανομή . . . 223
6.5.1 Ιδιότητες και της γεωμετρικής κατανομής . . . 227
6.6 Αρνητική διωνυμική κατανομή . . . 232
6.6.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά της αρνητικής διωνυμικής κατανομής . . . 236
6.7 Πολυωνυμική κατανομή . . . 240
6.7.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά της πολυωνυμικής κατανομής . . . 243
6.8 Υπεργεωμετρική κατανομή . . . 246
6.8.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά της υπεργεωμετρικής κατανομής . . . 250
6.9 Κατανομή Poisson . . . 253
6.9.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά της κατανομής Poisson . . . 257
6.9.2 Διαδικασία Poisson . . . 260
6.10 Ασκήσεις . . . 263
6.11 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 266

7 Ειδικές συνεχείς κατανομές: κατανοώντας τη συνεχή αβεβαιότητα 273
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων . . . 273
7.1 Εισαγωγή . . . 273
7.2 Ομοιόμορφη κατανομή . . . 275
7.2.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά της ομοιόμορφης κατανομής . . . 277
7.3 Βήτα κατανομή . . . 282
7.3.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά της Βήτα κατανομής . . . 288
7.3.2 Ειδικές περιπτώσεις και σχέσεις με άλλες κατανομές . . . 291
7.4 Εκθετική κατανομή . . . 293
7.4.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά της εκθετικής κατανομής . . . 296
7.4.2 Σχέσεις με άλλες κατανομές . . . 299

7.4.3 Παραδείγματα . . . 302
7.4.4 Γενικεύσεις εκθετικής κατανομής . . . 304
7.4.4.1 Κατανομή Erlang . . . 305
7.4.4.2 Γάμμα κατανομή . . . 307
7.4.4.3 Κατανομή Weibull . . . 318
7.5 Κανονική κατανομή . . . 326
7.5.1 Μονοδιάστατη κανονική κατανομή . . . 327
7.5.1.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά της κανονικής κατανομής . . . 337
7.5.2 Πολυδιάστατη κανονική κατανομή . . . 345
7.6 Λογαριθμοκανονική κατανομή . . . 351
7.6.1 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά της λογαριθμοκανονικής κατανομής . . . 356
7.7 Κατανομές βασισμένες στην κανονική κατανομή . . . 358
7.7.1 Κατανομή χι-τετράγωνο . . . 359
7.7.2 Κατανομή t . . . 367
7.7.3 Κατανομή F . . . 380
7.8 Ασκήσεις . . . 392
7.9 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 396

8 Περιγραφική στατιστική: δίνοντας νόημα στα δεδομένα 415
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων . . . 415
8.1 Ταξίδι στον συναρπαστικό κόσμο των δεδομένων . . . 416
8.2 Εσύ τι τύπος είσαι; Ποιοτικά και Ποσοτικά δεδομένα . . . 417
8.3 Πίνακες συχνοτήτων και ομαδοποιημένοι πίνακες συχνοτήτων . . . 419
8.4 Αριθμητικά μέτρα ποσοτικών δεδομένων . . . 427
8.4.1 Μέτρα θέσης . . . 427
8.4.2 Μέτρα διασποράς ή μεταβλητότητας . . . 433
8.4.3 Μέτρα σχήματος ή μορφής . . . 440
8.5 Οπτικοποίηση δεδομένων . . . 444
8.5.1 Γραφικές παραστάσεις ποιοτικών δεδομένων . . . 444
8.5.2 Γραφικές παραστάσεις ποσοτικών δεδομένων . . . 448
8.5.2.1 Ιστόγραμμα . . . 448
8.5.2.2 Διάγραμμα στελέχους-φύλλου . . . 452
8.5.2.3 Θηκόγραμμα . . . 456
8.5.2.4 Διάγραμμα αθροιστικών σχετικών συχνοτήτων . . . 458
8.6 Όλη η αλήθεια πίσω από τα z-σκορς . . . 459
8.7 Από τη θεωρία στην πράξη: Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην Ευρωπαϊκή Ένωση . . . 462
8.8 Ασκήσεις . . . 466
8.9 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 469

9 Δειγματοληπτικές κατανομές: Η τάξη πίσω από το δείγμα 481
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων . . . 481
9.1 Στατιστικές συναρτήσεις . . . 481
9.2 Δειγματική μέση τιμή και δειγματική διασπορά . . . 483
9.2.1 Ιδιότητες και κατανομές των στατιστικών συναρτήσεων της δειγματικής μέσης τιμής και διασποράς . . . 484
9.2.1.1 Κεντρικό Οριακό Θεώρημα . . . 486
9.2.1.2 Δειγματική Διασπορά . . . 493
9.2.1.3 Κατανομής της δειγματικής μέσης τιμής με άγνωστη διασπορά . . . 499
9.3 Κατανομή της διαφοράς δύο δειγματικών μέσων τιμών . . . 501

9.3.1 Ανεξάρτητα δείγματα . . . 502
9.3.1.1 Κανονικοί πληθυσμοί με γνωστές διασπορές . . . 502
9.3.1.2 Κανονικοί πληθυσμοί με άγνωστες αλλά ίσες διασπορές . . . 503
9.3.1.3 Κανονικοί πληθυσμοί με άγνωστες, αλλά άνισες διασπορές . . . 505
9.3.1.4 Μεγάλα μεγέθη δειγμάτων από μη κανονικούς πληθυσμούς . . . 508
9.3.2 Εξαρτημένα δείγματα . . . 508
9.4 Κατανομή λόγου δειγματικών διασπορών . . . 510
9.5 Κατανομή δειγματικής αναλογίας . . . 511
9.6 Κατανομή διαφοράς δειγματικών αναλογιών . . . 516
9.7 Ασκήσεις . . . 518
9.8 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 521

10 Στατιστική συμπερασματολογία: Γενικεύοντας τα συμπεράσματα στον πληθυσμό 523
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων . . . 523
10.1 Εισαγωγή . . . 524
10.2 Εκτίμηση σε σημείο . . . 525
10.2.1 Αμερόληπτος εκτιμητής . . . 527
10.2.2 Συνεπής εκτιμητής . . . 530
10.2.3 Μέθοδοι εκτίμησης . . . 532
10.2.3.1 Μέθοδος Μέγιστης Πιθανοφάνειας . . . 532
10.2.3.2 Μέθοδος των Ροπών . . . 538
10.3 Διαστήματα εμπιστοσύνης . . . 540
10.3.1 Φράγματα εμπιστοσύνης . . . 542
10.3.2 Διάστημα εμπιστοσύνης για την πληθυσμιακή μέση τιμή . . . 544
10.3.3 Διάστημα εμπιστοσύνης για την αναλογία p ενός πληθυσμού . . . 551
10.3.4 Διαστήματα εμπιστοσύνης για παραμέτρους μη κανονικού πληθυσμού και μικρό μέγεθος δείγματος . . . 556
10.3.5 Διάστημα εμπιστοσύνης για τη διαφορά δύο μέσων τιμών με ανεξάρτητα δείγματα . . . 558
10.3.6 Διάστημα εμπιστοσύνης για τη διαφορά δύο πληθυσμιακών αναλογιών με ανεξάρτητα δείγματα . . . 563
10.3.7 Διάστημα εμπιστοσύνης για τη διαφορά δύο μέσων τιμών με εξαρτημένα δείγματα . . . 565
10.3.8 Διάστημα εμπιστοσύνης για την πληθυσμιακή διασπορά και τυπική απόκλιση κανονικού πληθυσμού . . . 568
10.3.9 Διάστημα εμπιστοσύνης για τον λόγο των διασπορών δύο κανονικών πληθυσμών με ανεξάρτητα δείγματα . . . 570
10.4 Διάστημα πρόβλεψης . . . 572
10.5 Ασκήσεις . . . 574
10.6 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 577

11 Στατιστική συμπερασματολογία: Αναζητώντας την αλήθεια 583
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων . . . 583
11.1 Εισαγωγή . . . 584
11.2 Στατιστικοί έλεγχοι υποθέσεων . . . 586
11.2.1 Έλεγχος υποθέσεων για τη μέση τιμή ενός πληθυσμού . . . 590
11.2.2 Έλεγχος υπόθεσης για την αναλογία p ενός πληθυσμού . . . 603
11.2.3 Έλεγχοι υποθέσεων για τη διαφορά των μέσων τιμών δύο πληθυσμών με ανεξάρτητα δείγματα . . . 607

11.2.4 Έλεγχος υποθέσεων για τη διαφορά δύο πληθυσμιακών ποσοστών με ανεξάρτητα δείγματα . . . 620
11.2.5 Έλεγχος υπόθεσης για τη διαφορά των μέσων δύο πληθυσμών με εξαρτημένα δείγματα . . . 624
11.2.6 Έλεγχος υπόθεσης για τη διασπορά σ^2 ενός κανονικού πληθυσμού . . . 627
11.2.7 Έλεγχος υπόθεσης για τον λόγο των διασπορών δύο κανονικών πληθυσμών με ανεξάρτητα δείγματα . . . 630
11.3 Μη παραμετρικοί έλεγχοι υποθέσεων . . . 633
11.3.1 Έλεγχοι υπόθεσης για τη διάμεσο ενός πληθυσμού . . . 636
11.3.1.1 Προσημικός έλεγχος . . . 636
11.3.1.2 Έλεγχος των προσημασμένων τάξεων μεγέθους του Wilcoxon . . . 641
11.3.2 Έλεγχοι για την ισότητα δύο πληθυσμιακών διαμέσων με εξαρτημένα δείγματα . . . 646
11.3.3 Έλεγχος ισότητας δύο πληθυσμιακών διαμέσων με ανεξάρτητα δείγματα . . . 651
11.4 Έλεγχοι χι-τετράγωνο . . . 657
11.4.1 Έλεγχος καλής προσαρμογής . . . 658
11.4.1.1 Απλός έλεγχος καλής προσαρμογής . . . 659
11.4.1.2 Σύνθετος έλεγχος καλής προσαρμογής . . . 661
11.4.2 Έλεγχος ανεξαρτησίας . . . 664
11.4.3 Έλεγχος McNemar για την ισότητα δύο πληθυσμιακών ποσοστών με εξαρτημένα δείγματα . . . 668
11.5 Έλεγχοι κανονικότητας . . . 672
11.6 Ασκήσεις . . . 678
11.7 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 683

12 Απλό Γραμμικό Μοντέλο: Ξετυλίγοντας το Νήμα της Συσχέτισης 707
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων . . . 707
12.1 Εισαγωγή . . . 707
12.2 Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης και απλό γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης . . . 711
12.3 Απλό γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης . . . 713
12.3.1 Ορισμός . . . 714
12.3.2 Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων . . . 717
12.3.2.1 Μαθηματική παρουσίαση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων . . . 718
12.3.2.2 Ερμηνεία εκτιμητριών ελαχίστων τετραγώνων . . . 720
12.3.2.3 Βασικές ιδιότητες του απλού γραμμικού μοντέλου . . . 724
12.3.2.4 Εναλλακτική παρουσίαση εκτιμητριών ελαχίστων τετραγώνων . . . 726
12.4 Υποθέσεις απλού γραμμικού μοντέλου . . . 729
12.5 Στατιστική σημαντικότητα – έλεγχοι υποθέσεων . . . 729
12.5.1 Δειγματοληπτικές κατανομές εκτιμητριών . . . 730
12.5.1.1 Κατανομή της $\hat{\beta}_1$ . . . 730
12.5.1.2 Κατανομή της $\hat{\beta}_0$ . . . 733
12.5.2 Έλεγχοι υποθέσεων και διαστήματα εμπιστοσύνης για τις παραμέτρους του μοντέλου . . . 739
12.5.2.1 Έλεγχος υποθέσεων και διαστήματα εμπιστοσύνης για το β_1 . . . 739
12.5.2.2 Έλεγχος υποθέσεων και διαστήματα εμπιστοσύνης για το β_0 . . . 746
12.5.2.3 Προσαρμογή μοντέλου χωρίς σταθερό όρο . . . 748
12.5.2.4 Παραδείγματα και εφαρμογές . . . 749
12.5.3 Ανάλυση διασποράς και έλεγχος σημαντικότητας F . . . 756
12.5.3.1 Ανάλυση διασποράς . . . 756
12.5.3.2 Έλεγχος σημαντικότητας . . . 759

12.6 Αξιολόγηση μοντέλου και πρόβλεψη . . . 764
12.6.1 Κριτήρια αξιολόγησης του μοντέλου . . . 764
12.6.1.1 Συντελεστής προσδιορισμού R^2 . . . 764
12.6.1.2 Μέσο τετραγωνικό σφάλμα . . . 766
12.6.2 Διαστήματα πρόβλεψης και εμπιστοσύνης . . . 769
12.6.2.1 Διάστημα εμπιστοσύνης για την αναμενόμενη τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής . . . 769
12.6.2.2 Διάστημα πρόβλεψης για μια νέα παρατήρηση της εξαρτημένης μεταβλητής . . . 769
12.6.2.3 Παραδείγματα και εφαρμογές . . . 772
12.7 Χρήση του απλού γραμμικού μοντέλου ως εργαλείο αξιολόγησης προβλεπτικών αλγορίθμων . . . 774
12.8 Ασκήσεις . . . 778
12.9 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 782

13 Πολλαπλό Γραμμικό Μοντέλο: αποκωδικοποιώντας την αβεβαιότητα 789
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων . . . 789
13.1 Πολλαπλό γραμμικό μοντέλο . . . 790
13.1.1 Εισαγωγή στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση . . . 791
13.1.1.1 Ορισμός πολλαπλού γραμμικού μοντέλου . . . 792
13.1.1.2 Τυχαίο δείγμα και πολλαπλό γραμμικό μοντέλο . . . 793
13.1.1.3 Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων . . . 794
13.1.1.4 Ερμηνεία εκτιμητριών . . . 795
13.2 Υποθέσεις πολλαπλού γραμμικού μοντέλου . . . 797
13.2.1 Ιδιότητες εκτιμητριών ελαχίστων τετραγώνων . . . 799
13.3 Έλεγχοι υποθέσεων και διαστήματα εμπιστοσύνης . . . 801
13.3.1 Έλεγχος υποθέσεων για μεμονωμένες παραμέτρους στο πολλαπλό γραμμικό μοντέλο . . . 802
13.3.2 Διαστήματα εμπιστοσύνης για τις παραμέτρους του μοντέλου . . . 809
13.3.3 Κοινές περιοχές εμπιστοσύνης για τις παραμέτρους της παλινδρόμησης . . . 811
13.3.3.1 Εναλλακτικές ορθογώνιες περιοχές εμπιστοσύνης . . . 811
13.3.3.2 Υλοποίηση κοινών περιοχών εμπιστοσύνης στην R . . . 812
13.3.4 Έλεγχος σημαντικότητας . . . 816
13.3.4.1 Ανάλυση διασποράς στο πολλαπλό γραμμικό μοντέλο . . . 817
13.3.4.2 Συντελεστής προσδιορισμού R^2 . . . 820
13.3.4.3 Έλεγχος F . . . 824
13.3.5 Διαστήματα εμπιστοσύνης και πρόβλεψης . . . 830
13.3.5.1 Διάστημα εμπιστοσύνης για την αναμενόμενη τιμή . . . 831
13.3.5.2 Διάστημα πρόβλεψης για νέα παρατήρηση . . . 831
13.3.5.3 Παρατηρήσεις για τα πλάτη των διαστημάτων . . . 832
13.4 Ασκήσεις . . . 836
13.5 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 839

14 Μη Γραμμικά Μοντέλα: Αγκαλιάζοντας την Πολυπλοκότητα 847
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων . . . 847
14.1 Γιατί όλες οι σχέσεις δεν περιγράφονται από τα γραμμικά μοντέλα . . . 847
14.2 Γενική μορφή μη γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης . . . 849
14.3 Παραμετρικά μη γραμμικά μοντέλα παλινδρόμησης . . . 850
14.3.1 Εκτίμηση παραμέτρων . . . 852

14.3.2 Προσδιορισμός αβεβαιότητας εκτιμήσεων, διαστήματα εμπιστοστοσύνης και έλεγχοι υποθέσεων . . . 853
14.4 Μη παραμετρικά μη γραμμικά μοντέλα . . . 855
14.4.1 Τοπική πολυωνυμική παλινδρόμηση . . . 856
14.4.2 Δέντρα αποφάσεων . . . 856
14.4.3 Τυχαία Δάση . . . 857
14.5 Παράδειγμα . . . 858
14.6 Ασκήσεις . . . 873
14.7 Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 875

15 Σχεδιασμός πειραμάτων: Αποκάλυψη πολυπλοκοτήτων 889
Γλωσσάριο επιστημονικών όρων . . . 889
15.1 Εισαγωγικές έννοιες στον πειραματικό σχεδιασμό . . . 890
15.1.1 Βασική ορολογία και έννοιες . . . 891
15.2 Ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα με σταθερές επιδράσεις . . . 894
15.2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο . . . 894
15.2.2 Έλεγχος των υποθέσεων του μοντέλου και αντιμετώπιση παραβιάσεων . . . 904
15.2.3 Υλοποίηση . . . 907
15.3 Ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα με τυχαίες επιδράσεις . . . 914
15.3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο . . . 915
15.3.2 Έλεγχος των υποθέσεων του μοντέλου και αντιμετώπιση παραβιάσεων . . . 919
15.3.3 Υλοποίηση . . . 921
15.4 Ανάλυση διακύμανσης κατά έναν παράγοντα με σταθερές επιδράσεις και επαναλαμβανόμενες μετρήσεις . . . 926
15.4.1 Θεωρητικό υπόβαθρο . . . 926
15.4.2 Έλεγχος των υποθέσεων του μοντέλου και αντιμετώπιση παραβιάσεων . . . 928
15.4.3 Υλοποίηση . . . 929
15.5 Ανάλυση διακύμανσης κατά δύο παράγοντες με σταθερές επιδράσεις και αλληλεπίδραση . . . 935
15.5.1 Θεωρητικό υπόβαθρο . . . 935
15.5.2 Έλεγχος των υποθέσεων του μοντέλου και αντιμετώπιση παραβιάσεων . . . 938
15.5.3 Υλοποίηση . . . 939
15.6 Ανάλυση διακύμανσης κατά δύο παράγοντες με σταθερές επιδράσεις και επαναλαμβανόμενες μετρήσεις . . . 946
15.6.1 Θεωρητικό υπόβαθρο . . . 947
15.6.2 Έλεγχος των υποθέσεων του μοντέλου και αντιμετώπιση παραβιάσεων . . . 949
15.6.3 Υλοποίηση . . . 950
15.7 Ανάλυση διακύμανσης για μικτό σχεδιασμό δύο παραγόντων . . . 958
15.7.1 Θεωρητικό υπόβαθρο . . . 958
15.7.2 Έλεγχος των υποθέσεων του μοντέλου και αντιμετώπιση παραβιάσεων . . . 961
15.7.3 Υλοποίηση . . . 962
15.8 Περαιτέρω παραλλαγές και επεκτάσεις της ανάλυσης διακύμανσης . . . 967
15.9 Ασκήσεις . . . 969
15.10Απαντήσεις στις ασκήσεις αυτοαξιολόγησης . . . 971

Α' Πίνακες κατανομών 993

Βιβλιογραφία 1011

Ευρετήριο 1023