# البـرمجة بلغة سـي


تأليف

Mike Banahan

Declan Brady

Mark Doran

ترجمة

ناصـر داخل



أكاديمية حسوب

# البـرمجة بلغة سـي

دليلك لتعلم البرمجة وبرمجة التطبيقات بلغة البرمجة C

**اسم الكتاب**: البرمجة بلغة سي

**Book Title**: The C book

**المؤلف**: مايك بانهان - ديكلان برادي – مارك دوران

**Author**: Mike Banahan - Declan Brady - Mark Doran

**المترجم**: ناصر داخل

**Translator**: Naser Dakhel

**المحرر**: غفار الرفاعي - جميل بيلوني

**Editor**: Ghefar Alrefai - Jamil Bailony

**تصميم الغلاف**: جميل بيلوني

**Cover Design**: Jamil Bailony

**سنة النشر**: 2023

**Publication Year**: 2023

**رقم الإصدار**: 1.0

**Edition**: 1.0



https://academy.hsoub.com

academy@hsoub.com

# عن الناشـر

أُنتج هذا الكتاب برعاية شركة حسوب وأكاديمية حسوب.

تهدف أكاديمية حسوب إلى تعليم البرمجة باللغة العربية وإثراء المحتوى البرمجي العـربي عـبر توفـير دورات برمجة وكتب ودروس عالية الجودة من متخصصين في مجال البرمجة والمجالات التقنية الأخـرى، بالإضـافة إلى توفير قسم للأسئلة والأجوبة للإجابة على أي سؤال يواجه المتعلم خلال رحلته التعليمية لتكون معه وتؤهلـه حـتى دخول سوق العمل.

حسوب شركة تقنية في مهمة لتطوير العـالم العـربي. تبـني حسـوب منتجـات تركِّز على تحسـين مسـتقبل العمل، والتعليم، والتواصل. تدير حسوب أكبر منصتي عمل حر في العالم العربي، مستقل وخمسات ويعمل في فيها فريق شاب وشغوف من مختلف الدول العربية.

# دورة علوم الحاسوب

## مميزات الدورة

- بناء معرض أعمال قوي بمشاريع حقيقية
- وصول مدى الحياة لمحتويات الدورة
- تحديثات مستمرة على الدورة مجانًا
- شهادة معتمدة من أكاديمية حسوب
- إرشادات من المدربين على مدار الساعة
- من الصفر دون الحاجة لخبرة مسبقة

**اشترك الآن**

# المحتويات باختصار


| | |
|---|---|
| مقدمة | 21 |
| 1. مقدمة إلى لغة سي | 28 |
| 2. المتغيرات والعمليات الحسابية | 50 |
| 3. التحكم بالتدفق والتعابير المنطقية | 103 |
| 4. الدوال Functions | 124 |
| 5. المصفوفات Arrays والمؤشرات Pointers | 154 |
| 6. هياكل البيانات | 202 |
| 7. المعالج المسبق Preprocessor | 237 |
| 8. مواضيع مخصصة عن لغة سي | 255 |
| 9. المكتبات Libraries | 280 |
| 10. تطبيقات عملية | 342 |
| 11. حلول التمارين | 374 |

# جدول المحتويات

**مقدمة** **21**
عن الكتاب 21
نجاح لغة سي 22
المعايير Standards 24
البيئات المستضافة والمستقلة 25
الاصطلاحات المطبعية 26
تسلسل الأفكار 26
أمثلة عن بعض البرامج 26
احترام المعيار 27
المساهمة في النسخة العربية 27
**1. مقدمة إلى لغة سي** **28**
1.1 بنية برنامج لغة سي 28
1.2 الدوال Functions 29
1.3 شرح تمرين 1.1 31
1.3.1 ما الذي احتواه التمرين السابق؟ 31
1.3.2 التنسيق والتعليق 31
1.3.3 تعليمات المعالج المسبق 32
ا. تعليمات التعريف Define 33
1.3.4 تعريف وتصريح الدالة 34
ا. التصريح 34
ب. التعريف 34
1.3.5 السلاسل النصية 36
1.3.6 دالة main 37
1.3.7 التصريح Declaration 37
1.3.8 تعليمة الإسناد Assignment Statement 38
1.3.9 تعليمة الحلقة التكرارية While 38
1.3.10 تعليمة الإعادة return 39

1.3.11 الملخص 40
1.4 بعض البرامج البسيطة بلغة سي 40
1.4.1 برنامج لإيجاد الأعداد الأولية 41
1.4.2 عامل القسمة 43
1.4.3 مثال عن تنفيذ عملية الدخل 44
1.4.4 المصفوفات البسيطة 45
1.5 مصطلحات 47
1.6 خاتمة 48
1.7 تمارين 48
**2. المتغيرات والعمليات الحسابية 50**
2.1 بعض الأساسيات 50
2.2 المحارف المستخدمة في لغة سي 50
2.2.1 الأبجدية الاعتيادية 51
2.2.2 ثلاثيات المحارف 52
2.2.3 المحارف متعددة البايت Multibyte Characters 53
2.3 البنية النصية للبرامج 55
2.3.1 تخطيط البرنامج 55
2.3.2 التعليق 56
2.3.3 مراحل الترجمة 57
2.4 الكلمات المفتاحية والمعرفات 57
2.4.1 الكلمات المفتاحية Keywords 57
2.4.2 المعرفات Identifier 58
2.5 التصريح عن المتغيرات 59
2.5.1 تمارين 61
2.6 الأنواع الحقيقية Real Types 61
2.6.1 طباعة الأعداد الحقيقية 64
2.6.2 تمارين 65
2.7 الأنواع الصحيحة Integral types 65
2.7.1 الأعداد الصحيحة البسيطة 65

2.7.2 متغيرات المحارف 66
2.7.3 المزيد من الأنواع المعقدة 69
2.7.4 طباعة أنواع الأعداد الصحيحة 71
2.8 التعابير والعمليات الحسابية 72
2.8.1 التحويلات 73
ا. الترقية العددية الصحيحة 74
ب. الأعداد الصحيحة ذات الإشارة وعديمة الإشارة 74
ج. الأعداد العشرية والصحيحة 75
د. التحويلات الحسابية الاعتيادية 76
ه. المحارف العريضة 78
و. التحويل بين الأنواع Cast 80
2.8.2 العوامل Operators 82
ا. عوامل المضاعفة 82
ب. عوامل الجمع 83
ج. عوامل العمليات الثنائية 83
د. عوامل الإسناد 86
ه. عوامل الزيادة والنقصان 87
و. الأسبقية والتجميع 89
2.8.3 الأقواس 93
2.8.4 الآثار الجانبية Side Effects 94
2.9 الثوابت 95
2.9.1 الأعداد الصحيحة الثابتة 95
2.9.2 الأعداد الحقيقية الثابتة 99
2.10 خاتمة 100
2.11 تمارين 101
2.11.1 تمرين 17.2 101
**3. التحكم بالتدفق والتعابير المنطقية 103**
3.1 التعابير المنطقية والعوامل العلاقية 103
3.2 التحكم بالتدفق 106

3.2.1 تعليمة إذا if الشرطية 106
3.2.2 تعليمة do و while التكرارية 108
ا. اختصار عملية الإسناد والتحقق في تعبير واحد 108
3.2.3 تعليمة for التكرارية 109
3.2.4 أهمية تعليمات التحكم بالتدفق 112
3.2.5 تعليمة switch 112
ا. أكبر قيود تعليمة Switch 113
ب. تعبير العدد الصحيح الثابت 114
3.2.6 تعليمة break 114
3.2.7 تعليمة continue 115
3.2.8 تعليمة goto والعناوين labels 116
3.2.9 خلاصة 117
3.3 عوامل منطقية أخرى 118
3.4 عوامل غريبة 120
3.4.1 عامل الشرط :? 120
3.4.2 عامل الفاصلة 122
3.5 خاتمة 123
3.6 تمارين 123
**4. الدوال Functions 124**
4.1 ما التغييرات التي طرأت على لغة سي المعيارية بخصوص الدوال؟ 124
4.2 أنواع الدوال 125
4.2.1 التصريح عن الدوال 126
4.2.2 تعليمة الإعادة return 127
4.2.3 وسطاء الدوال 128
4.2.4 نماذج الدوال الأولية function prototypes 130
4.2.5 تحويلات الوسطاء 133
4.2.6 تعريف الدوال 135
4.2.7 التعليمات المركبة والتصريحات 136
4.3 مفهوم التعاود Recursion وتمرير الوسطاء إلى الدوال 138

4.3.1 استدعاء الوسيط بقيمته call by value 138
4.3.2 استدعاء الوسيط بمرجعه call by reference 140
4.3.3 التعاود Recursion 140
4.4 مفهوم النطاق Scope والربط Linkage على مستوى الدوال 145
4.4.1 الربط Linkage 145
4.4.2 تأثير النطاق 149
4.4.3 الكائنات الداخلية الساكنة 150
4.5 الخاتمة 151
4.6 تمارين 152
**5. المصفوفات Arrays والمؤشرات Pointers 154**
5.1 تمهيد الفصل 154
5.1.1 ما أهمية هذا الفصل؟ 154
5.1.2 تأثير لغة سي المعيارية 155
5.2 المصفوفات Arrays 155
5.2.1 المصفوفات متعددة الأبعاد 156
5.3 المؤشرات Pointers 157
5.3.1 التصريح عن المؤشرات 157
5.3.2 المصفوفات والمؤشرات 163
5.3.3 الأنواع المؤهلة Qualified 166
5.3.4 عمليات المؤشرات الحسابية 168
5.3.5 مؤشرات void و null والمؤشرات الإشكالية 169
5.4 التعامل مع المحارف والسلاسل النصية 171
5.4.1 التعامل مع المحارف 171
5.4.2 السلاسل النصية Strings 173
5.4.3 المؤشرات وعامل الزيادة 176
5.4.4 المؤشرات عديمة النوع 177
5.5 عامل sizeof وحجز مساحات التخزين 179
5.5.1 ما الأشياء التي لا يستطيع العامل sizeof فعلها؟ 192
5.5.2 نوع قيمة sizeof 192

5.6 مؤشرات الدوال 193
5.7 المؤشرات في التعابير 195
5.7.1 التحويلات 195
5.7.2 العمليات الحسابية 196
5.7.3 التعابير العلاقية 197
5.7.4 الإسناد 198
5.7.5 العامل الشرطي 198
5.8 المصفوفات وعامل & والدوال 198
5.9 خاتمة 200
5.10 تمارين 201
**6. هياكل البيانات 202**
6.1 لمحة تاريخية 202
6.2 الهياكل Structures 203
6.2.1 المؤشرات والهياكل 207
6.2.2 القوائم المترابطة وهياكل أخرى 211
6.2.3 الأشجار 218
6.3 الاتحادات Unions 223
6.4 حقول البتات Bitfields 226
6.5 المعددات enums 228
6.6 المؤهلات والأنواع المشتقة 229
6.7 التهيئة Initialization 229
6.7.1 أنواع التهيئة 230
6.7.2 التعابير الثابتة 230
6.7.3 استكمال عن التهيئة 231
6.8 خاتمة 235
6.9 التمارين 236
**7. المعالج المسبق Preprocessor 237**
7.1 أثر المعيار 237
7.2 كيف يعمل المعالج المسبق؟ 238

7.3 الموجهات Directives 239
7.3.1 الموجه الفارغ 240
7.3.2 موجه تعريف الماكرو define 240
ا. استبدال الماكرو 241
ب. التنصيص 243
ج. لصق المفتاح Token pasting 243
د. إعادة المسح 244
ه. ملاحظات 245
7.3.3 موجه التراجع عن تعريف ماكرو undef 246
7.3.4 موجه تضمين ملف مصدري include 247
7.3.5 الأسماء مسبقة التعريف 248
7.3.6 موجه التحكم بتقارير الأخطاء line 250
7.3.7 التصريف الشرطي 250
7.3.8 موجه التحكم المعتمد على التنفيذ pragma 252
7.3.9 موجه عرض رسالة خطأ قسرية error 253
7.4 الخاتمة 253
7.5 التمارين 253
**8. مواضيع مخصصة عن لغة سي 255**
8.1 مقدمة 255
8.2 التصاريح declarations والتعاريف definitions وإمكانية الوصول accessibility 255
8.2.1 محددات صنف التخزين 256
ا. المدة الزمنية 256
8.2.2 النطاق Scope 259
8.2.3 الربط 260
8.2.4 الربط والتعاريف 261
8.2.5 الاستخدام العملي لكل من الربط والتعاريف 262
8.3 معرف النوع typedef 265
8.4 المؤهلان const و volatile 268
8.4.1 المؤهل const 269

8.4.2 المؤهل volatile 271
ا. العمليات غير القابلة للتجزئة 276
8.5 نقاط التسلسل Sequence points 277
8.6 الخاتمة 278
**9. المكتبات Libraries 280**
9.1 مقدمة 280
9.1.1 ملفات الترويسات والأنواع القياسية 280
9.1.2 مجموعات المحارف والاختلافات اللغوية 281
9.1.3 ملف ترويسة <<stddef.h 282
9.1.4 ملف الترويسة <<error.h 283
9.2 تشخيص الأخطاء 284
9.3 التعامل مع المحارف 285
9.4 التوطين Localization 287
9.4.1 دالة setlocale لضبط الإعدادات المحلية 290
9.4.2 دالة localeconv 291
9.5 القيم الحدية 292
9.5.1 ملف الترويسة <<limits.h 292
9.5.2 ملف الترويسة <<float.h 293
9.6 الدوال الرياضية 295
9.7 القفزات اللامحلية Non-local jumps 297
9.8 التعامل مع الإشارة 299
9.9 أعداد متغيرة من الوسطاء 302
9.10 الدخل والخرج I/O 305
9.10.1 مقدمة 305
9.10.2 نموذج الدخل والخرج 306
ا. المجاري النصية 306
ب. المجاري الثنائية 307
ج. المجاري الأخرى 307
9.10.3 ملف الترويسة <<stdio.h 307

9.10.4 العمليات على المجاري 309
ا. فتح المجرى 309
ب. إغلاق المجرى 309
ج. التخزين المؤقت للمجرى 310
د. التلاعب بمحتويات الملف مباشرة 310
9.10.5 فتح الملفات بالاسم 311
9.10.6 الدالة freopen 313
9.10.7 إغلاق الملفات 313
9.10.8 الدالتان setbuf و setvbuf 313
9.10.9 دالة fflush 314
9.11 الدخل والخرج المنسق Formatted I/O 315
9.11.1 الخرج: دوال printf 315
9.11.2 الرايات 316
9.11.3 الدخل: دوال scanf 319
9.12 عمليات الإدخال والإخراج على المحارف 321
9.12.1 دخل المحرف 321
9.12.2 خرج المحرف 322
9.12.3 خرج السلسلة النصية 322
9.12.4 دخل السلسلة النصية 322
9.13 الدخل والخرج غير المنسق Unformatted I/O 322
9.14 الدوال عشوائية الوصول Random access functions 324
9.14.1 التعامل مع الأخطاء 326
9.15 أدوات مكتبة stdlib 327
9.15.1 دوال تحويل السلسلة النصية 327
9.15.2 توليد الأرقام العشوائية 329
9.15.3 حجز المساحة 329
9.15.4 التواصل مع البيئة 330
9.15.5 البحث والترتيب 331
9.15.6 دوال العمليات الحسابية الصحيحة 332

9.15.7 الدوال التي تستخدم المحارف متعددة البايت 333
9.16 التعامل مع السلاسل النصية 334
9.16.1 النسخ 334
9.16.2 مقارنة السلسلة النصية والبايت 335
9.16.3 دوال بحث المحارف والسلاسل النصية 336
9.16.4 دوال متنوعة أخرى 337
9.17 التاريخ والوقت 338
9.18 الخاتمة 341
**10. تطبيقات عملية 342**
10.1 وسطاء الدالة main 342
10.2 تفسير وسطاء البرنامج 345
10.3 برنامج لإيجاد الأنماط 348
10.4 مثال أكثر طموحا 354
10.5 الخاتمة 373
**11. حلول التمارين 374**
11.1 الفصل الأول 374
11.1.1 التمرين الثاني 374
11.1.2 التمرين الثالث 375
11.1.3 التمرين الرابع 376
11.1.4 التمرين الخامس 377
11.2 الفصل الثاني 379
11.2.1 التمرين الأول 379
11.2.2 التمرين الثاني 380
11.2.3 التمرين الثالث 380
11.2.4 التمرين الرابع 380
11.2.5 التمرين الخامس 380
11.2.6 التمرين السادس 380
11.2.7 التمرين السابع 380
11.2.8 التمرين الثامن 380

11.2.9 التمرين التاسع 380
11.2.10 التمرين العاشر 380
11.2.11 التمرين الحادي عشر 381
11.2.12 التمرين الثاني عشر 381
11.2.13 التمرين الثالث عشر 381
11.2.14 التمرين الرابع عشر 381
11.2.15 التمرين الخامس عشر 381
11.2.16 التمرين السادس عشر 382
11.2.17 التمرين السابع عشر 382
11.3 الفصل الثالث 384
11.3.1 التمرين الأول 384
11.3.2 التمرين الثاني 384
11.3.3 التمرين الثالث 384
11.3.4 التمرين الرابع 384
11.3.5 التمرين الخامس 384
11.3.6 التمرين السادس 384
11.3.7 التمرين السابع 385
11.4 الفصل الرابع 385
11.4.1 التمرين الأول 385
11.4.2 التمرين الثاني 385
11.4.3 التمرين الثالث 387
11.4.4 التمرين الرابع 387
11.5 الفصل الخامس 390
11.5.1 التمرين الأول 390
11.5.2 التمرين الثاني 390
11.5.3 التمرين الثالث 390
11.5.4 التمرين الرابع 390
11.5.5 التمرين الخامس 390
11.5.6 التمرين الخامس 392

11.6 الفصل السادس 392
11.6.1 التمرين الأول 392
11.6.2 التمرين الثاني 392
11.6.3 التمرين الثالث 392
11.6.4 التمرين الرابع 392
11.6.5 التمرين الخامس 392
11.6.6 التمرين السادس 393
11.6.7 التمرين السابع 393
11.6.8 التمرين الثامن 393
11.6.9 التمرين التاسع 393
11.7 الفصل السابع 393
11.7.1 التمرين الأول 393
11.7.2 التمرين الثاني 393
11.7.3 التمرين الثالث 393
11.7.4 التمرين الرابع 394
11.7.5 التمرين الخامس 394
11.7.6 التمرين السادس 394
11.7.7 التمرين السابع 394
11.7.8 التمرين الثامن 394

# فهرس الأشكال

الشكل 1: طريقة عمل المصرف في لغة سي 29
الشكل 2: مصفوفة ذات 100 عنصر 155
الشكل 3: هيكل مصفوفة ثنائية البعد 156
الشكل 4: مصفوفة ومؤشر 158
الشكل 5: مصفوفة ومؤشر مهيّأ 159
الشكل 6: عند استدعاء الدالة date 162
الشكل 7: عندما تصل الدالة date إلى تعليمة return 162
الشكل 8: أثر استخدام السلسلة النصية 174
الشكل 9: مخطط تخزين الهيكل 211
الشكل 10: قائمة مترابطة باستخدام المؤشرات 212
الشكل 11: شجرة 218
الشكل 12: المعالج المسبق في لغة سي 238
الشكل 13: هيكل ملف الشيفرة المصدرية 263
الشكل 14: وسطاء البرنامج 344
الشكل 15: وسطاء البرنامج بعد زيادة argv 345

# فهرس الجداول

الجدول 1: أبجدية لغة سي 51
الجدول 2: ثلاثيات المحارف 52
الجدول 3: كلمات مفتاحية 58
الجدول 4: رموز التنسيق للأعداد الحقيقية 64
الجدول 5: المزيد من رموز التنسيق 72
الجدول 6: التحويل بين الأنواع 82
الجدول 7: عوامل العمليات الثنائية 83
الجدول 8: عوامل الإسناد المركبة 87
الجدول 9: أسبقية العوامل وترابطها 91
الجدول 10: سلاسل التهريب في لغة C 97
الجدول 11: العوامل العلاقيّة 104
الجدول 12: الربط وقابلية الوصول 147
الجدول 13: ملخص الربط 151
الجدول 14: معاني المؤشرات 177
الجدول 15: المزيد من معاني المؤشرات 177
الجدول 16: موجّهات المعالج المُسبق 239
الجدول 17: التصريحات الخارجية (خارج الدوال) 259
الجدول 18: التصريحات الداخلية 259
الجدول 19: أسماء ملف الترويسة <<limits.h 292
الجدول 20: أسماء ملف الترويسة <<float.h 293
الجدول 21: أنماط فتح الملف 312
الجدول 22: أنواع التخزين المؤقت 314
الجدول 23: التحويلات 317
الجدول 24: الدوال التي تطبع خرجًا مُنسَّقًا 318
الجدول 25: محددات الحجم 320
الجدول 26: محددات الحجم 340

# دورة تطوير التطبيقات
# باستخدام لغة بايثون


## مميزات الدورة

- بناء معرض أعمال قوي بمشاريع حقيقية
- وصول مدى الحياة لمحتويات الدورة
- تحديثات مستمرة على الدورة مجانًا
- شهادة معتمدة من أكاديمية حسوب
- إرشادات من المدربين على مدار الساعة
- من الصفر دون الحاجة لخبرة مسبقة

**اشترك الآن**

# مقدمة

## عن الكتاب

هذا الكتاب مترجم عن الإصدار الثاني من الكتاب The C Book الذي نُشر أول إصدار منه عام 1991 وقد نفدت كل الإصدارات المطبوعة منه وبقيت النسخة المنشورة على الإنترنت والتي ترجمناها إلى العربية. ورغم قِدمه، إلا أن محتواه متوافق مع لغة سي المستقرة والتي تُستعمل في مجال هندسة البرمجيات بكثرة خصوصًا في مجال الأنظمة والأنظمة المدمجة embedded programming وتعلمها يعطي فهمًا واسعًا عن عملية البرمجة لذلك تجد أن أغلب الجامعات ودورات البرمجة المتوسعة والشاملة تبدأ بتعليم البرمجة بلغة سي.

الكتاب موجّهٌ لفئتين من الأشخاص، الأشخاص المبتدئين في لغة سي C الذين يريدون تعلُّمها من البداية، والفئة التي تعرف التعامل مع لغة سي مسبقًا بمعيارها القديم وتريد التعرُّف على الإضافات الجديدة في المعيار الجديد. نتمنى أن يكون هذا الكتاب مفيدًا وممتعًا لك في نفس الوقت.

نريد الإشارة هنا إلى أن الكتاب غير مناسب للمبتدئين تمامًا الذين ليس لديهم أي خبرةٍ سابقة بالتعامل مع أيّ لغة من لغات البرمجة الإجرائية Procedural عالية المستوى High-level، إذ أن لغة سي ليست بالخيار الأمثل للمبتدئين في البرمجة على الرغم من نجاح البعض في تعلُّمها وكانت لغتهم الأولى. سنفترض خلال تكلمنا ومناقشتنا للمفاهيم خلال الفصول أن القارئ على إلمام بالمفاهيم الأساسيّة، مثل التعليمات البرمجية Statements والمتغيرات Variables والتنفيذ الشرطي Conditional Execution والمصفوفات Arrays والإجرائيات Procedures (أو البرامج الفرعية Subroutines) وغيرها. يركّز هذا الكتاب على ميّزات لغة سي وخصائصها، بدلًا من تضييع وقتك بالخوض في التفاصيل الرتيبة عن شرح كيفية جمع رقمين، أو شرح رمز عملية الضرب في البرمجة "*"، ونركّز هنا على الطريقة التي تُطبَّق فيها لغة سي.

سيستمتع الأشخاص الذين يعرفون كيفية التعامل مع لغة سي مسبقًا بالقراءة عن آخر التغييرات في النسخة المعياريّة، وكيف سيؤثر في عمل برامج مكتوبة بهذه اللغة؛ فبالرغم من أن التغييرات بين المعيار الجديد والقديم قد تكون غير مهمة للمتعلّمين الجدد، إلا أنّه يجب معرفتها. سنصادف كثيرًا من البرمجيات المكتوبة بخليطٍ من المعيار القديم والحديث بعد عدّة سنوات من الموافقة على هذا المعيار الجديد، وذلك وفقًا لعمر البرنامج ووقت برمجته. يركز الكتاب على التمييز بين المعيار الجديد والقديم وتوضيح الفرق الكبير بينهما للأسباب التي ذكرناها، إذ يَعد المعيار الجديد بعض هذه التغييرات ضروريّة، وأن بعض الجوانب من المعيار القديم قد عفى عنها الزمن ويجب ألّا نستمر باستخدامها؛ ولهذا السبب لن نتطرّق إليها بالتفصيل ولكننا سنشرح فقط ما يعني كل تغيير. وبالنسبة لمبرمج ينوي كتابة برنامجه بالمعيار القديم بالاعتماد على الخصائص القديمة، فالأفضل له قراءة كتاب مختلف.

هذه النسخة الثانية من الكتاب، وقد دُققت وجرى مراجعتها لتطابق آخر معايير اللغة، إذ استمدت النسخة الأولى محتوياتها من مسودة عن المعيار الجديد، التي كانت مختلفة بعض الشيء عن المسودة المقبولة في النهاية، وخلال عملية مراجعة الكتاب للنسخة الثانية ضمنّا بعض الملخصات وفقرة إضافية توضح استخدامات لغة سي والمكتبة القياسية في حل بعض من المشكلات البسيطة.

## نجاح لغة سي

كانت لغة سي C الاستثنائية نتاج عمل رجلٌ واحدٍ يعمل في مختبرات بيل AT&T Bell Laboratories يدعى "دينيس ريتشي Dennis Ritchie"، وشهدت هذه اللغة شعبيةً متزايدةً منذ وقت ظهورها، وينظر إليها البعض بكونها أكثر لغات البرمجة استخدامًا حول العالم. لا يوجد عامل أساسي في نجاح لغة سي، بل هناك مجموعةٌ من العوامل المختلفة الملائمة، ولعل أبرزها هو تطوير اللغة على يد ممارسين للبرمجة (مبرمجين) يوميًا بهدف استخدامها عمليًّا وليس بغرض الاستعراض النظري، وكانت متعددة الاستخدامات وتؤدي العديد من الأغراض، إذ ركزت على تزويد المبرمج بالقوة والتحكم بدلًا من احتوائها على حدودٍ وقواعد صارمة تحدّ من حريته.

ساهم هذا السبب الكبير في جعل لغة سي مناسبةً للمحترفين أكثر من المبتدئين، إذ يتطلب تعلُّم البرمجة في البداية بيئةً آمنةً ومبسطة، تعطيك استجابةً لأخطائك وكيفية حلّها بسرعة. بمعنى آخر، برامج تعمل حتى لو لم تنفذ ما تريده -بسبب خطأ من طرفك- ولكن لغة سي لا تعمل بهذه الطريقة. الأمر مماثل لاستخدام حطاب محترف للمنشار الآلي لقطع الأشجار، فهو يعي جيّدًا خطورة الأداة هذه إن لمس شفراتها بينما تعمل، ولكنه يستطيع استخدامها بثقة وبمهارة. تعمل لغة سي C بصورةٍ مشابهة، وعلى الرغم من أن مصرِّف Compiler لغة سي قد ينبّه المبرمج عند حدوث بعض الأخطاء ويزوده بإرشاداتٍ محدودة تدلُّه على سبب الخطأ، إلا أن المبرمج يملك خيار تجاهل تحذيرات المصرِّف وإجباره على استخدام التعليمات التي كتبها، وبفرض أنك أردت الحصول على البرنامج الذي كتبته فعلًا، فستحصل عليه دون أيّ قيود. البرمجة باستخدام لغة سي مماثلة لتناول مزيج من اللحم الأحمر النيء مع الخل ولكن ستنجو من هذه التجربة لا تقلق!

نجاح هذه اللغة القوية غير مرتبطٍ بأسباب تتعلق بحلقة المبرمجين المحترفين، بل هناك العديد من الاستخدامات التي زادت من نجاح هذه اللغة، فلطالما ارتبطت لغة سي بنظام تشغيل يونكس UNIX، وارتبطت شعبيتها بنجاح هذا النظام؛ وعلى الرغم من أنها ليست اللغة التي يقصدها المبرمجون أوّلًا لكتابة برامج تجارية كبيرة لمعالجة البيانات، إلا أن توافر لغة سي ضمن تطبيقات يونكس التجارية كان من ضمن ميزاتها، نظرًا لأن نظام يونكس قد كُتب باستخدامها، إذ تطلّب استخدام هذا النظام على أي قطعة من العتاد الصلب وجود مصرِّف سي أوّلًا، ولذلك يكاد من المستحيل أن تجد أي نظام يونكس لا يدعم لغة سي. نتيجةً لذلك، بدأت شركات توزيع البرمجيات التي تريد استهداف الأجهزة التي تعمل بنظام يونكس بالتركيز على لغة سي كونها أفضل خيار للحصول على تبنّي واسع النطاق لبرامجها. إذا أردنا التكلُّم بموضوعيّة، يمكننا القول أن لغة سي هي الخيار الأول لسهولة التنقل على جميع بيئات يونكس.

ازدادت شعبية لغة C أيضًا بفضل نمو سوق أجهزة الحواسيب الشخصية، فقد صُممت لغة سي خصيصًا لتطوير البرمجيات عليها، إذ تمنح هذه اللغة عالية المستوى القدرة للمبرمجين على كتابة برنامج سهل القراءة والكتابة، والقوة للتحكم بمختلف موارد الحاسوب ومعماريته دون اللجوء لاستخدام شيفرةٍ تجميعية Assembly Code.

تُعرف لغة سي بقدرتها الفريدة على الجمع بين مستويين من البرمجة في وقتٍ واحد، مع المحافظة على قدرة التحكم بالتدفق وهياكل البيانات data structures والإجراءات procedures -وهي جميع الأمور التي تتوقعها من أي لغة حديثة عالية المستوى-، كما تسمح لمبرمجي الأنظمة بالتعامل والتلاعب بخانات الآلة bits، لضمان الوصول الأقرب للعتاد الصلب في حال الحاجة. مجموعة الخصائص هذه مرغوبة جدًا في سوق برمجيات الحواسيب التنافسي، ونتيجة لذلك اتخذ العديد من مطوري البرمجيات لغة سي أداتهم الأساسية.

وآخر الأسباب في شعبية لغة سي -وليس أقلها أهمية- هو تعدد استخدامات هذه اللغة، إذ فشلت العديد من لغات البرمجة بتزويد العديد من المزايا المهمة في مجال تطوير التطبيقات التجارية والمرتبطة بالوصول للملفات والتعامل مع الدخل والخرج عامةً، إذ كانت معظم لغات البرمجة تزود أدوات الدخل والخرج I/O على أنها حلولًا مضمّنةً Built-in تُفهم تلقائيًّا بواسطة المصرِّف، وهذه هي النقطة التي تتفوق فيها لغة سي، وواحدة من نقاط قوّة نظام تشغيل يونكس أيضًا؛ إذ تنظر لغة سي إلى هذا الأمر على النحو التالي: إذا لم تكن قادرًا على تزويد المبرمج بحل كامل لمتطلّب ما، فعليك السماح له ببناء حلِّه الخاص بدلًا من تقديم نصف حل، والذي لن يرضي أي أحد. وعلى مصممي البرمجيات حول العالم أن يحذوا حذو لغة سي ويتعلموا منها، إذ أن هذا الأمر لا ينطبق فقط على حلول الدخل والخرج، بل تزداد استخدامات اللغة عن طريق استخدام دوال المكتبات بطريقة لم يفكر مطوّرو اللغة بها.

نضجت مكتبة الدخل والخرج القياسية Standard I/O Library -أو اختصارًا stdio بخطًى أبطأ من اللغة نفسها، ولكنها أصبحت مكتبةً تقليديةً إلى حدٍ ما بعد أن منحتها لجنة المعايير مباركتها؛ وهذه المكتبة هي مثالٌ حي على استخدام دوال المكتبات، فقد أثبتت أنه من الممكن تطوير نموذج من ملف دخل/خرج يحتوي على

العديد من الخصائص وقابل للتطبيق على عدة أنظمة بجانب يونكس -النظام الـذي شُـكّلت فيـه لأول مـرة. على الرغم من قدرة لغـة سـي على تقـديم تحكُّم بخصـائص العتـاد الصـلب بمسـتوًى منخفض، فـإن رونقهـا الممـيز واستخدامها حزمة stdio يقدِّم لنا العديـد من الـبرامج متعـددة الاسـتخدامات الـتي تعمـل على أنظمـة تشـغيل مختلفة كثيرًا عن بعضها. إذا لم ترُق لك بعض الحلول الموجودة ضمن هذه المكتبة وأردت تطبيق حلك الخـاص الذي يقدم المزيد من الخصائص أو يتخلص من بعضها فيمكنك فعل ذلـك في حـال معرفتـك بـالأمور التقنيـة، وهذا هو الشيء المميز بخصوص هذه المكتبة.

## المعايير Standards

من الملفت للانتباه تحقيق لغة سي كل هذا النجاح مع غياب معايير رسمية، والملفت للانتبـاه أكـثر أنهـا لم تؤثر على شعبية أي من اللغات الأخرى التي عـالجت مشـاكلها خلال فـترة انتشـارها، مثـل لغـة بيسـك BASIC، وهـذا غـير مفـاجئ في حقيقـة الأمـر، إذ وُجـد على الـدوام كتـاب دليـل مـرجعي للغـة معـروفٌ جـدًا باسم "لغة البرمجة سي The C Programming Language"، والمكتوب بواسطة الثنائي "بريـان كيرنغـان Brian Kernighan" و"دينيس ريتشي Dennis Ritchie" في عام 1987، وأُطلق عليه تسمية "K&R"، وقد كان هـذا الكتاب بمثابة كتاب قوانين صارم لضبط معايير اللغة باختلاف تنوعها.

كـان هنـاك مصـرِّف واحـد على يـونكس فقـط، وقـد عُـرف باسـم "مصـرِّف سـي المحمـول Portable C Compiler"، إذ كُتب على يد "ستيف جونسـون Steve Johnson"، ومثَّل مرجعًـا تطبيقيًّا للغـة سـي. إذا كـان مرجع K&R غامضًا بالنسبة لك، فسيساعدك في فهمه حقيقة أنه أُخذ من طريقة بناء مصرِّف يونكس.

مع أن هذا الوضع كان مثاليًّا، إذ تُعد حيازة دليل مرجعي وتطبيق مرجعي طريقةً ممتازةً لتحقيـق دوام اللغـة ورسوخها بأقل التكاليف، إلا أن عدد الطرق البديلة التي تُطبَّق فيها لغة سي أخـذ بالازديـاد في عـالم الحواسـيب الشخصية، مما بدأ بتهديد رسوخ هذه اللغة.

بـدأت لجنـة X3J11 التابعـة للمعهـد الأمـريكي للمعـايير الوطنيـة American National Standards Institute -أو اختصارًا ANSI-، في بدايات ثمانينيات القرن الماضي 1980 بتشكيل معايير رسمية للغة سي، إذ اتخذت اللجنة من K&R دليلًا مرجعيًا لهـا، وبـدأت بهـذه المهمـة الشـاقة، وكـان الهـدف من ذلـك هـو إبعـاد أي غموض، وتعريف ما ليس معرفًا، وتصحيح أوجه قصور لغـة سـي والحفـاظ على روح اللغـة، إضـافةً للعمـل على تحقيق أكبر قدر ممكن من التوافق ما بينها وبين الممارسات البرمجية التي اعتاد عليها المبرمجون. لحسن الحظ مُثِّلت جميع إصدارات سي التي تتنافس مع بعضها الآخر ضمن اللجنة، الأمر الذي شكَّل نقطة تلاقٍ قوية لجميع وجهات النظر المختلفة.

كما هي العادة، أخذت عملية تطوير المعايير وقتًا طويلًا، فالعمل لا يقتصـر فقـط على الجـانب التقـني، على الرغم من كونه أكثر الأجزاء استهلاكًا للـوقت، كمـا أن إغفـال الجـوانب الأخـرى والإجـراءات المترافقـة مـع ضـبط المعايير أمرٌ يسهل فعله، فهذه الأجزاء الأخرى مساويةٌ في الأهمية للجوانب التقنية. أي معيار لا يحظى بالموافقة

الجماعية من طرف كبار الحرفة معرّضٌ كثيرًا للإهمال وعلى الأغلب لن ينال تبنيًا واسع النطاق. إذًا، العملية المضنية في الحصول على الموافقة ضمن أفراد اللجنة مهمة جدًا في نجاح أي معيار، وهذا يعني في بعض الأحيان التضحية بالتحسينات التقنية على حساب ذلك، فهذه العملية عملية ديمقراطية، مفتوحةٌ لآراء الجميع، مما يعني عدولًا بسيطًا عن الأهداف بقدرٍ مساوٍ يتسبب به الهوس بالكمال التقني؛ ولسوء الحظ فقد تأثر موعد وصول المعيار في اللحظات الأخيرة بسبب بعض الإجراءات البعيدة عن المشاكل التقنية. اكتمل العمل على المعيار تقنيًّا في كانون الأول من عام 1988، ولكن الأمر استغرق سنةً إضافيةً لحلّ بعض الاعتراضات، وأخيرًا وصلت الموافقة في إطلاق المستند معيارًا رسميًا صادرًا عن المعهد الأمريكي للمعايير الوطنية في السابع من كانون الأول من عام 1989.

## البيئات المستضافة والمستقلة

كان للاعتماد على استخدام المكتبات بهدف زيادة إمكانات اللغة أثرًا كبيرًا على الجانب التطبيقي، إذ لا تقتصر أهمية دوال مكتبة الدخل والخرج القياسية على برمجة التطبيقات، بل هناك العديد من الاستخدامات الأخرى الأساسية لها، وتؤخذ بكونها من المسلمات في بعض الأحيان، مثل التعامل مع السلاسل النصية والفرز والموازنة، والتلاعب بالمحارف ومزيدٌ من التطبيقات الأخرى المشابهة التي نتوقع وجودها في معظم مجالات البرمجة.

كان من المهم للمعيار أن يتكفل أيضًا تزويد الدوال الموجودة في هذه المكتبات بشرح مفصّل بسبب الاعتماد الكبير على المكتبات الإضافية، إذ كانت هذه المهمة أكثر تعقيدًا من مهمة توفير شرح مفصل عن اللغة بحد ذاتها نظرًا لإمكانية توسعة المكتبة أو تعديلها بواسطة مبرمج يمتلك الخبرة اللازمة، وقد كانت مشروحةً جزئيًا في دليل K&R. تسببت هذه المشكلة بظهور العديد من التطبيقات المشابهة ولكن المختلفة عن المكتبات المُستخدمة والمدعومة من اللغة، وكانت عملية التوصُّل لتوصيف المكتبة ودعمها من أصعب المهام التي نفذتها اللجنة، لكنها كانت من أكثر المهام قيمةً ونفعًا ضمن عملية إصدار المعيار لمستخدم اللغة.

لا تقتصر جميع تطبيقات لغة سي على مجالٍ واحد طبعًا، إذ المكتبة القياسية مفيدة في تطبيقات معالجة البيانات، التي يكثر فيها استخدام ملفات الدخل والخرج والأرقام والبيانات على هيئة السلاسل النصية. تُستخدم لغة سي ضمن مجال مساوٍ في الأهمية ألا وهو الأنظمة المدمجة embedded system، الذي يتطلب تطبيقات مختلفة، مثل التحكم بالعمليات وحوسبة الزمن الحقيقي وتطبيقات أخرى مشابهة.

يعي المعيار هذه الاستخدامات ويعمل على تزويدها بالأدوات اللازمة، إذ تشغل دوال المكتبات التي يجب أن تكون موجودة في البيئات المُستضافة جزءًا كبيرًا من المعيار؛ إذ تُعرف البيئات المستضافة بأنها البيئة التي تحتوي على جميع المكتبات القياسية، ويسمح المعيار باستخدام كلٍّ من البيئات المستضافة والبيئات المستقلة، ولكن مع التفريق بينهما. لكن من الذي قد يريد استخدام بيئةٍ لا تحتوي على أي من المكتبات؟ يستخدمها أي شخص يريد كتابة "برمجيات مستقلة Standalone programs"، مثل نظم التشغيل والنظم

المدمجة مثل متحكمات الآلة، أو برامج تعريف العتاد Firmware، إذ تُعد كل هذه الاستخدامات مثالًا مناسبًا على استخدام بيئةٍ مستقلة.

بينما تحتوي البيئة المستضافة على بعض الكلمات المفتاحية المحجوزة لمكتبة معينة، تتميز البيئة المستقلة بعدم وجود هذا النوع من القيود على الرغم من أن كتابة الشيفرة البرمجية باستخدام كلمات مفتاحية من مكتبات قياسية أمرٌ غير محبذ لأنه قد يكون مشتّتًا للقارئ. سنتكلم بصورةٍ موسعة أكثر عن أسماء واستخدامات كل من دوال المكتبة في الفصل التاسع.

## الاصطلاحات المطبعية

يهدف نمط الطباعة في هذا الكتاب لتحقيق أسلوب متناسق ضمن جميع الفصول عند استخدام المصطلحات المميزة أو التقنية، ونقصد بهذا الكلمات التي لها معنى معين في سياق لغة سي، مثل الكلمات المفتاحية المحجوزة وأسماء المكتبات، إذ ستجدها مكتوبة بصورةٍ مميزة، مثل "`int`" و"`printf`". ستُكتب المصطلحات المُستخدمة في هذا الكتاب المرتبطة بالمعيار وليس بلغة سي بضرورة الأمر بخط غامق إن لم تذكر مسبقًا وذلك للتشديد على المصطلحات المذكورة حديثًا؛ وستُستخدم الأحرف الكبيرة (الإنجليزية) بغض النظر عن موضع ورود اسم الدالة أو الكلمة المفتاحية في النص؛ أما علامات الاقتباس فهي مستخدمة من حينٍ إلى آخر إذا كان من الممكن ضياع معناها ضمن سياق الكلام وعدم الانتباه لبعض "الكلمات المميزة". كل أسلوب تنسيق مغاير لذلك قد يكون بسبب نزوة من القارئ أو خطأً كتابيًّا.

## تسلسل الأفكار

يبدأ الكتاب بنظرةٍ عامة على الأجزاء الأساسية من اللغة التي ستسمح لك بكتابة برامج مفيدة بسرعة، ويلي هذه المقدمة تغطيةً دقيقةً عن تفاصيل أهملت في البداية، ويليها نقاشٌ عميق حول المكتبة القياسية. هذا يعني أنك ستتعلم جزءًا لا بأس فيه من اللغة أينما توقفت عن قراءة الكتاب وشعرت بأنك وصلت للقدر الكافي من التفصيل. ربما ستجد الفصل الأول بطيء التقدم بعض الشيء، ولكن الأمر يستحق انتباهك وفهمك للمواضيع المذكورة ضمنه.

## أمثلة عن بعض البرامج

جُرّبت جميع الأمثلة المذكورة في هذا الكتاب على مصرِّف متوافقٍ مع معيار سي الجديد، هذا يعني أن معظم الأمثلة صحيحة، إلا في حالة لم يكن المصرِّف يتبع المعيار بصورةٍ خاطئة أو طبقت شيئًا لا يندرج تحت المعيار. ومع ذلك **بعض** الأخطاء ممكنة الحدوث، نرجو أن تكون صبورًا عند حدوثها.

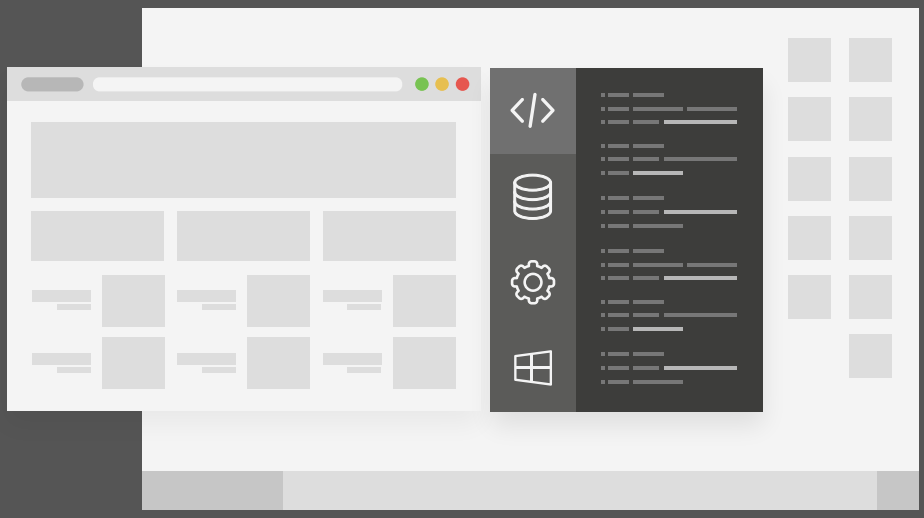
## احترام المعيار

هذا الكتاب هو محاولة لتقديم شرح مقروء ومفهوم عن اللغة وفقًا لمعيارها، ويهدف لشرح ما قصده المعيار بلغة بسيطة. بذلنا جهدنا لنقل المعلومة على النحو الصحيح، ولكن عليك أن تعلم أن المصدر الوحيد الذي يعـرّف ويصف اللغة هذه بالكامل هو المعيار بنفسه، فمن الممكن أننا أسأنا نقل ما أرادت اللجنة التي أشرفت على هذا المعيار بقوله، أو الطريقة التي نشرح بها بعض المفاهيم أكثر بساطة وعامّة أكثر من الشرح الموجود في المعيـار، فإذا كان لديك أيّ شك **اقرأ المعيار**. نعلم أن قراءته ليست التجربة الأكثر متعةً بالضرورة، لكنه دقيـقٌ وبعيـدٌ عن الغموض، ولا تأخذ المعلومة النهائية من أي مصدرٍ غيره.

## المساهمة في النسخة العربية

يرجى إرسال بريد إلكـتروني إلى academy@hsoub.com إذا كـان لـديك اقـتراح أو تصـحيح على النسـخة العربية من الكتاب أو أي ملاحظة حول أي مصطلح من المصطلحات المسـتعملة. إذا ضـمَّنتَ جـزءًا من الجملـة التي يظهر الخطأ فيها على الأقل، فهذا يسهِّل علينا البحث، ويفضل أيضًا إضافة أرقام الصفحات والأقسام.

# دورة علوم الحاسوب



دورة تدريبية متكاملة تضعك على بوابة الاحتراف
في تعلم أساسيات البرمجة وعلوم الحاسوب

**التحق بالدورة الآن**

# 1. مقدمة إلى لغة سي

## 1.1 بنية برنامج لغة سي

إذا كنت معتادًا على لغات تتبع بنية الكُتل مثل لغة باسكال Pascal، فستجد بنية برنامج لغة سي C مفاجئًا لك؛ وإذا كانت خبرتك في مجال لغات مشابهة للغة فورتران FORTRAN، فستجد البنية مشابهةً لما اعتدت عليه -بالرغم من اختلافها بصورةٍ كبيرة في التفاصيل، وفي الحقيقة استعارت لغة سي من كلا الأسلوبين المُستخدمين بصورةٍ واضحة، ومن أماكن أخرى أيضًا. نتيجةً لأخذ بعض القواعد من مصادر مختلفة، تبدو لغة سي أشبه بنتيجة تزاوج فصيلة كلاب ترير Terrier غير الأنيقة والمعروفة بعنادها وقوتها لكنها متسامحة مع أفراد العائلة. يطلق علماء الأحياء على هذا النوع من الفصائل "القوة الهجينة"، قد يذكرك كلامنا أيضًا بمخلوق كمير Chimera الأسطوري الذي يبدو خليطًا من الخرفان والماعز، قد يمنحنا الحليب والصوف، ولكنه سيزعجنا بثغائه المرتفع ورائحته غير اللطيفة.

إذا نظرنا للأمر عمومًا نلاحظ أن ميزة لغة سي C العامة هي بنية البرنامج الموزعة على عدة ملفات، لأنها تسمح **بتصريف منفصل** لهذه الملفات، إذ تسمح لغة سي بتوزيع أجزاء من برنامج مكتمل على عدة **ملفات مصدرية** والتصريف على نحوٍ متفرق عن بعضها بعضًا. مبدأ العمل هنا هو أن جميع عمليات التصريف هذه ستعطينا ملفات يمكن **ربطها Linked** سويًّا عن طريق أي محرر ربط، أو محمّل ربط يستخدمه نظامك، ولكن بنية الكتل لبعض لغات البرمجة المشابهة للغة ألغول ALGOL تجعل هذه الطريقة صعبة التنفيذ، نظرًا لأن البرنامج مكتوبٌ بطريقة تجعل منه كتلةً واحدةً مترابطة، إلا أن هناك بعض الطرق للتغلُّب على هذه المشكلة.

تتغلب لغة سي على هذه المشكلة بطريقةٍ مثيرة للاهتمام، إذ من المفترض أن تسرّع عملية التصريف، لأن تصريف البرنامج إلى **تعليمات مصرَّفة Object Code** بطيء ومكلف من ناحية الموارد، فالتصريف عملية شاقة. أتت من هنا فكرة استخدام المحمّل في ربط مجموعة من التعليمات المصرفة، إذ تتطلب هذه العملية

ترتيب التعليمات حسب عنوانها للتوصل للبرنامج الكامل ببساطة. يُفترض أن يكون هذا الحل خفيف الاستهلاك للموارد، وعلى المحمّل طبعًا فحص **المكتبات** المستخدمة في التعليمات المصرفة واختيارها أيضًا.

الفائدة المكتسبة هنا هو أننا لسنا بحاجة تصريف كامل البرنامج بعد تعديل جزءٍ بسيط منه، في هذه الحالة نحن بحاجة إعادة تصريف الجزء المُعدّل من البرنامج فقط؛ ولكن قد يصبح المحمّل في بعض الأحيان أبطأ عمليات تصريف البرنامج وأكثرها استهلاكًا للموارد بزيادة العمل المطلوب منه، وقد تكون العملية أسرع في بعض الأنظمة إذا صُرّف كل شيء دفعةً واحدة، وتُعد لغة أدا Ada إحدى الأمثلة المعروفة باتباعها لهذا الأسلوب. بالنسبة للغة سي فالعمل المنجز من المصرف ليس ضخمًا ومعقول إلى حدٍّ ما، يوضح الشكل 1 طريقة عمل المصرف في لغة سي.


الشكل 1: طريقة عمل المصرف في لغة سي

هذه الطريقة مهمة في لغة سي، إذ من الشائع أن تجد جميع البرامج باستثناء الصغيرة منها مؤلفةٌ من عددٍ من ملفات الشيفرة المصدرية، هذا يعني أيضًا أن جميع البرامج مهما كانت بسيطة ستمرّ بالمحمّل، نظرًا لاعتماد لغة سي المكثف على المكتبات، وهذا ما قد يكون غير واضح عند النظرة الأولى أو للمتعلّم الجديد.

## 1.2 الدوال Functions

تتكون لغة C من مجموعة عناصر تشكل لبنات البناء الأساسية لها، مثل **الدوالّ Functions** وما نطلق عليه تسمية **المتغيرات العامة global variables**، إذ تُسمى هذه العناصر في نقطة ما من البرنامج عند تعريفها، وتحتوي طريقة الوصول لهذه العناصر باستخدام اسمائهم ضمن البرنامج على بعض القواعد، وتُوصف هذه القواعد في المعيار بمصطلح **الربط Linkage**. سنتكلم في الوقت الحالي فقط عن **الربط الخارجي External Linkage** و**انعدام الربط No linkage**، إذ تُدعى العناصر التي يمكن الوصول إليها ضمن البرنامج كاملًا، مثل دوال مكتبة معينة، بعناصر الربط الخارجي، وتُستخدم العناصر عديمة الربط بكثرة أيضًا ولكن الوصول إليها محدودٌ بصورةٍ أكبر.

تُسمى المتغيرات المستخدمة داخل الدالة بالمتغيرات "المحلية Local" وهي عديمة الربط، وعلى الرغم من أننا نتفادى المصطلحات المعقدة قدر الإمكان في هذا الكتاب مثل المصطلحات التي ذكرناها سابقًا، ولكن لا توجد طريقة أبسط من شرح هذه المصطلحات. ستألف مصطلح الربط ضمن هذا الكتاب، والنوع الوحيد من الربط الخارجي الذي ستراه حاليًّا هو استخدام الدوال.

تكافئ الدوال في لغة سي الدوال والبرامج الفرعية في لغة فورتران FORTRAN والدوال والإجراءات في لغة باسكال Pascal وألغول ALGOL، بينما لا تمتلك لغة بيسك BASIC ومعظم طفراتها mutations البسيطة أو لغة كوبول COBOL مقدار الدوال التي تمتلكه لغة سي.

الفكرة من الدالة بسيطة وتتمثّل بإعطائك الإمكانية بتضمين فكرةٍ واحدة أو عملية ضمن قالب، وإعطائها اسمًا ما واستدعائها ضمن أجزاءٍ مختلفة من برنامجك باستخدام اسمها فقط. تكون تفاصيل العملية هذه غير واضحة عند ذكر الاسم ضمن البرنامج، وهذا الأمر طبيعي. وفي البرامج المصممة المهيكلة بصورةٍ جيدة، يمكنك تغيير طريقة عمل دالة ما (شرط ألّا يغير ذلك من طبيعة العمل) دون أن تؤثر على الأجزاء الأخرى من البرنامج.

هناك دالةٌ ذات اسم مميز في **البيئات المستضافة** ألا وهي دالة "main"، إذ تمثِّل هذه الدالة نقطة بداية البرنامج عند تشغيله، أما في **البيئات المستقلة** فالذي يحدد أولى خطوات البرنامج هي **دالة معرفة مسبقًا Implementation defined**؛ وهذا يعني أنه على الرغم من أن المعيار لا يحدد ما الذي سيحدث، إلا أن سلوك البرنامج يجب أن يكون محدّدًا وموثقًا. يتوقف البرنامج عندما يغادر دالة "main". ألقِ نظرةً على البرنامج البسيط التالي الذي يحتوي على دالتَين:

```
#include <stdio.h>

/*
* Tell the compiler that we intend
* to use a function called show_message.
* It has no arguments and returns no value
* This is the "declaration".
*
*/

void show_message(void);
/*
* Another function, but this includes the body of
* the function. This is a "definition".
*/
main(){
     int count;

     count = 0;
     while(count < 10){
             show_message();
```

```
                count = count + 1;
        }

        return(0);
}

/*
* The body of the simple function.
* This is now a "definition".
*/
void show_message(void){
        printf("hello\n");
}
```

[تمرين 1.1]

## 1.3 شرح تمرين 1.1

### 1.3.1 ما الذي احتواه التمرين السابق؟

يمكن لمثال صغير جدًا أن يقدِّم لك الكثير عن لغة سي، إذ احتوى التمرين السابق على دالتين وتعليمة `#include`، وبعض **التعليقات**، بالإضافة لأشياء أخرى، وبما أنّ التعليق هو أبسط الأجزاء في البرنامج دعونا نبدأ به.

### 1.3.2 التنسيق والتعليق

تخطيط برنامج مكتوب بلغة سي ليس مهمًّا للمصرف، ولكنه هام لنقل بعض المعلومات عن البرنامج للقارئ البشري ولتسهيل عملية قراءته، إذ تسمح لك لغة سي باستخدام محرف المسافة space ومسافات الجدولة tabs والسطور الجديدة newline دون أن تؤثر على عمل البرنامج. تُدعى المحارف الثلاث المذكور سابقًا باسم **المسافة الفارغة white space**، ولا يميّز بينها المصرّف لأنها ببساطة تغير من موضع الكلمات دون التأثير "مرئيًّا" على ما يُعرض على جهاز الخرج. يمكن أن نلاحظ المسافة البيضاء في أي مكان من البرنامج عدا وسط **المعرّفات Identifiers** و**السلاسل النصية Strings** و**المحارف الثابتة Character constants**؛ إذ نقصد بالمعرفات هنا اسم الدالة أو كائن Object آخر، لا تشغل بالك بالسلاسل النصية والمحارف الثابتة إذ سنناقشها في الفصول القادمة.

يُعد الفصل بين شيئين مختلفين من الحالات التي يصبح فيها استخدام المسافات الفارغة ضروريًّا، إذ قد يتسبب تلاصقهما بتفسيرهما شيئًا آخر، مثل الجزء `void show_message`، إذ نحتاج لمسافة فارغة للفصل

بين الكلمتين `void` و`show_message`، لكن احتواء `show_message(` على مسافة بيضاء بينها وبين القوس المفتوح غير ضروري، ووجودها مجرّد أسلوب تنسيقي في كتابة الشيفرة لا أكثر.

يبدأ التعليق في لغة C باستخدام المحرفين `/*` المتلاصقين دون أي فراغ بينهما، ويُعد أي شيء يأتي بعدهما إضافةً للمحرفين `*/` مسافةً فارغةً واحدة. لم يكن الأمر مماثلًا في معيار سي القديم، إذ كانت تنص القاعدة على إمكانية استخدام التعليق في أي مكان يمكن أن تُستخدم فيه المسافة الفارغة، أما الآن يُعد التعليق بحد ذاته مسافةً فارغة؛ التغيير الحاصل طفيف وستكون الأمور أكثر وضوحًا في الفصل السابع عندما نناقش **المعالج المُسبق preprocessor**. يجعل تنسيق تعليقات لغة سي بهذا الشكل تضمين تعليق بداخل تعليق آخر غير ممكنٍ، نظرًا لإغلاق أول زوج محارف `*/` في التعليق الثاني كتلة التعليق، وهذا إزعاجٌ بسيط ستعتاد عليه لاحقًا.

من الممارسات الشائعة وضع زوج المحارف `/*` في بداية كل سطر من تعليق متعدد الأسطر لإبراز كلّ منهم، كما هو موضحٌ في مثالنا السابق.

### 1.3.3 تعليمات المعالج المسبق

التعليمة الأولى في مثالنا السابق هي **موجّه للمعالج المُسبق Preprocessor directive**، إذ تضمَّن مصرّف لغة سي سابقًا مرحلتين، هما **المعالجة المُسبقة** ومرحلة التصريف الاعتيادية؛ إذ تمثّل المعالجة المُسبقة **معالج ماكرو macro processor** تجري بعض عمليات التلاعب النصي البسيطة على البرنامج قبل أن تمرّر النص الناتج إلى المصرّف، وقد أصبحت عملية المعالجة المسبقة جزءًا أساسيًّا من عمل المصرّف ولهذا تُعد جزءًا لا يتجزّأ من اللغة.

على الرغم من أن لغة سي حساسة لما يقع في نهاية الأسطر إلا أن عملية المعالجة المسبقة تلاحظ الأسطر فقط، ومع ذلك من الممكن كتابة موجّه معالجة مسبقة متعدد الأسطر، ولكنه غير شائع، وستشعر بالغرابة عندما تجد هذه الطريقة متبعة. يُعد أي سطرٍ يبدأ بالمحرف `#` توجيهًا للمعالج المسبق.

في التمرين 1.1 يؤدي موجّه المعالجة المسبقة `#include` إلى تبديل السطر هذا بمحتويات ملف آخر، وفي هذه الحالة اسم الملف يوجد ما بين القوسين `<` و`>`، وهذه طريقة شائعة لتضمين محتوى **ملفات الترويسات Header files** القياسية ضمن برنامجك، دون الاضطرار لكتابتها بنفسك. يحتوي ملف `<stdio.h>` المهم العديد من المعلومات الضرورية التي تسمح لك باستخدام مكتبة الدخل والخرج القياسية، بهدف الحصول على الدخل وإظهار الخرج، فإذا أردت استخدام هذه المكتبة عليك أن **تتأكد** من وجود `<stdio.h>`. كان معيار سي السابق متساهلًا أكثر بهذا الشأن.

### ا. تعليمات التعريف Define

تُعد تعليمة `#define` من الإمكانيات الأخرى والمستخدمة كثيرًا للمُعالج المُسبق، إذ تُستخدم على النحو التالي:

```
#define IDENTIFIER      replacement
```

تعني التعليمة السابقة أنه على المعالج المُسبق استبدال جميع الكلمات المطابقة إلى `IDENTIFIER` بالكلمة `replacement` عند جميع نقاط ورودها ضمن البرنامج. يُكتب دائمًا المعرِّف بأحرف كبيرة IDENTIFIER، وهذا اصطلاحٌ برمجي يساعد قارئ الشيفرة على فهمها، أما الجزء المُبدّل به replacement فقد يكون أي سلسلة نصية. تذكر أن المعالج المسبق لا يعرف قواعد لغة سي، إذ أن مهمته هي التلاعب النصي فقط. يكون الاستخدام الأكثر شيوعًا لهذه التعليمة هو التصريح Declare عن أسماء القيم العددية الثابتة كما هو موضح فيما يلي:

```
#define PI             3.141592
#define SECS_PER_MIN   60
#define MINS_PER_HOUR  60
#define HOURS_PER_DAY  24
```

واستخدام القيم على النحو التالي:

```
circumf = 2*PI*radius;
if(timer >= SECS_PER_MIN){
mins = mins+1;
        timer = timer - SECS_PER_MIN;
}
```

سيكون الخرج الناتج عن المعالج المُسبق مماثلًا فيما لو كتبت الشيفرة التالية:

```
circumf = 2*3.141592*radius;
if(timer >= 60){
        mins = mins+1;
       timer = timer - 60;
}
```

أخيرًا، نستطيع تلخيص ما سبق على النحو التالي:

- تتعامل تعليمات المعالج المُسبق مع الملفات النصية سطرًا بسطر، على نقيض لغة سي.

- تُستخدم التعليمات من النوع `#include` لقراءة محتوًى من ملفٍ معين، عـادةً لتسـهيل التعامـل مـع دوال مكتبةٍ ما.
- تُستخدم تعليمات `#define` لتسمية الثوابت، وتُكتب الأسماء اصطلاحًا بحروفٍ كبيرة.

## 1.3.4 تعريف وتصريح الدالة

### ا. التصريح

نلاحظ وجود ما يُسمى **تصريح الدالة function declaration** بعد تضـمين ملـف `<stdio.h>`، الـذي يخبر المصرّف أن `show_message` دالة لا تأخذ أي وسيط ولا تُعيد أي قيمة، ويوضح لنـا هـذا تغيـيرًا جـرى على المعيار، ألا وهو **النموذج الأولي للدالة function prototype**، وسنناقش هذا الموضوع بتوسّع لاحقًا. ليس من الضروري التصريح عن الدالة مسـبقًا، إذ ستسـتخدم لغـة سـي بعض القواعـد القديمـة الافتراضـية في هـذه الحالة، إلا أنه ينصح بشدة التصريح عن الدالة في البداية.

الفرق بين **التصريح** و**التعريف** هـو أن التصـريح يصـف نـوع الدالـة والوسـطاء المُمـرّرة لـه، بينمـا يحتـوي التعريف على بنية الدالة بالكامل. سيهمّنا فهم الفرق بين المصطلحين لاحقًا.

يستطيع المصرّف تفقد استعمال الدالة `show_message` فيمـا إذا كـان صـحيحًا أم لا بالتصـريح المُسـبق عنها قبل استخدامها، ويصف التصريح ثلاث خصائص عن الدالة، هي: اسمها ونوعها وعدد الوسطاء ونـوعهم؛ إذ يشـير الجـزء `void show_message(` إلى نـوع الدالـة والقيمـة الـتي تُعيـدها بعـد اسـتدعائها وهي `void` (سنناقش معناها لاحقًا). نستطيع رؤيـة الاسـتخدام الثـاني لكلمـة `void` في قائمـة الوسـطاء للدالـة `(void)`، والذي يعني أن الدالة لا تقبل أي وسطاء.

### ب. التعريف

تلاحظ في نهاية البرنامج تعريف الدالة، وبالرغم من أنّ أن طولها ثلاث أسـطر فقـط، إلا أنهـا تُعـد مثـالًا على تعريف دالة متكامل.

تنفِّذ دوال لغة سي المهام التي قد تقسِّـمها بعض اللغـات الأخـرى إلى جـزأين، إذ تسـتخدم لغـات البرمجـة الدوال لإعادة قيمةٍ ما، مثل دالة الجيب المثلثي `sin` وجيب التمام `cos` أو ربما دالة تُعيد الجذر الـتربيعي لعـددٍ ما، وهذه الطريقة التي تعمل بها دوالّ لغة سي، بينما تجري بعض لغات البرمجة هذه العملية باستخدام ما يشبه الدوال ولكن الفرق هنا هو عدم إعادة القيمة، مثل استخدام فورتران للبرامج الفرعيـة واسـتخدام باسـكالPascal وألغول Algol للإجراءات. تنجز لغة سي كل هذه المهام باستخدام الدوال عن طريق تحديـد **نوع** القيمـة المُعـادة عند التصريح عن الدالة، ولا تُعيد الدالة `show_message` أي قيمة، لذلك نوعها `void`.

إما أن يكون استخدام القيمة `void` بديهيًّا لك، أو صعب الفهم حسب الطريقـة الـتي تنظـر لهـا للأمـر. ففي الحقيقة، يمكننا الدخول في نقاشات فلسفيّة جانبية وغـير مثمـرة عن كـون `void` يصـف نـوع قيمـةٍ أو لا، لكن

أفضل تجنب ذلك. بغض النظر عن رأيك، استخدام النوع `void` التي تعني: "أنا لا أهتم بـأي قيمـة ترجعهـا هـذه الدالة (أو لا ترجعها)".

إذًا، نوع الدالة هو `void` واسمها `show_message`، أما القوسان `()` اللذان يتبعان هـذه المعلومـات، فهمـا لتنبيه المصرّف أننا نقصد التعريف، أو التصريح عن دالة. إذا كانت الدالة تقبـل أي وسـيط، فيجب وضـع اسـمه داخل القوسين. الدالة التي نتكلم عليها في مثالنا لا تأخـذ أي وسـطاء وهـذا الأمـر موضّـح عن طريـق اسـتعمال الكلمة `void` بداخل القوسين. وبالتالي اتّضح أن للكلمة التي تصف الفراغ والرفض أهميّةٌ بالغة.

يشكّل متن الدالـة **تعليمـة مركبـة compound statement**، وهي مجموعـةٌ من التعليمـات المُحاطـة بأقواس معقوصة `{}`، على الرغم من وجود تعليمة واحدة فقط إلا أن الأقواس مطلوبة، وعمومًا، تسـمح لـك لغـة سي باستخدام تعليمة مركبة في أي مكان تسمح به عـادةً باسـتخدام تعليمـة واحـدة بسـيطة، وتهـدف الأقـواس المعقوصة لتحويل عدة تعليمات متتالية إلى تعليمة واحدة.

إذا سألت السؤال المبرَّر "هل يتوجب استخدام الأقواس المعقوصة في كل مكان، إذا كان الهدف منها جمع عدّة تعليمات لتعليمـة واحـدة؟" الإجابـة: نعم، **عليك** اسـتخدام الأقـواس المعقوصـة، والمكـان الوحيـد الـذي لا تستطيع فيه استخدام تعليمة واحدة عوضًا عن تعليمة مركبة هو عند تعريف دالةٍ ما. بالتالي، أبسط دالـة يمكننـا إنشاؤها هي دالةٌ فارغة، لا تفعل أي عملٍ إطلاقًا:

```
void do_nothing(void){}
```

التعليمة الموجودة بداخل دالة `show_message` هي استدعاءٌ لدالةٍ من مكتبـة `printf`، إذ تُسـتخدم هـذه الدالة لتنسيق وطباعة الأشياء، والاستخدام الموجود في المثال هو أبسط استخدامات هـذه الدالـة. تقبـل الدالـة `printf` وسيطًا واحدًا أو أكثر، التي تُمرَّر قيمهم من استدعاء الدالة إلى الدالة نفسها، في مثالنا هذا، الوسيط هو **السلسلة النصية**. يُفسّر محتـوى السلسـلة النصـية من الدالـة `printf` وتتحكم الدالـة بطريقـة عـرض الخـرج حسب الوسطاء الممرّرة له، يماثل عمل الدالة عمل تعليمة `FORMAT` في فورتران إلى حدٍّ ما.

خُلاصة القول:

- تُستخدم **التصريحات** في التصريح عن اسم الدالة ونوع القيمة المُعادة ونوع قيم الوسطاء إن وُجدت.
- **تعريف** الدالة هي تصريح للدالة مع محتواها أيضًا.
- يُصرَّح عن الدالة التي لا تعيد أي قيمة باستخدام الكلمة `void`، على سبيل المثال:

```
void func(/* list of arguments */);
```

- يجب أن يصرّح عن الدالة التي لا تأخذ أي وسيط باسـتخدام الكلمـة `void` ضـمن لائحـة الوسـطاء، على سبيل المثال:

```
void func(void);
```

### 1.3.5 السلاسل النصية

تُعرَّف السلاسل النصية في لغة سي بأنها سلسلة من المحارف المحتواة داخل علامتي تنصيص على النحو التالي:

```
"like this"
```

من غير المسموح أن تشغر السلسلة النصية عدة أسطر، إذ تُعد عنصرًا واحدًا بصورةٍ مشابهة للمعرفات. إلا أنه من الممكن استخدام محرفَي المسافة ومسافة الجدولة داخل السلسلة النصية. يوضح المثال أدناه سلسلةً نصيّةً صالحةً وأخرى غير صالحة في السطرين الثاني والثالث:

```
"This is a valid string"
"This has a newline in it
and is NOT a valid string"
```

يمكنك الحصول على سلسلة نصية طويلة جدًا بالاستفادة من حقيقة أن المحرف "" في نهاية السطر يختفي تمامًا ضمن برنامج سي عند التنفيذ:

```
"This would not be valid but doesn't have \
a newline in it as far as the compiler is concerned"
```

الحل الثاني هو باستخدام ميّزة ضم السلاسل النصية، التي تنظر لكل سلسلتين نصيتين متجاورتين على أنهما سلسلةٌ نصيةٌ واحدة:

```
"All this " "comes out as "
"just one string"
```

بالعودة للمثال 1.1، تُعد السلسلة النصية "n" مثالًا على ما يُدعى **محرف التهريب escape character** ويمثّل في حالتنا هذه حالة إنشاء سطر جديد، وستطبع الدالة `printf` محتوى السلسلة النصية على ملف برنامج الخرج، بحيث سيكون الخرج "Hello" متبوعًا بسطرٍ جديد.

يسمح المعيار الجديد باستخدام **المحارف ذات البايتات المتعدّدة multibyte characters** لدعم الأشخاص العاملين ببيئة تستخدم مجموعة محارف أوسع من معيار آسكي ASCII الأميركي، مثل معيار Shift JIS المُستخدم في اليابان. يعرّف المعيار الجديد 96 محرفًا تمثّل أبجدية لغة سي (المتطرّق لها في فصل أبجدية لغة C)، وفي حال كان نظامك يستخدم مجموعة محارف موسّعة extended، فسيكون المكان الوحيد الذي قد

تستخدمها هو بداخل سلسلة نصية، أو متغيرات من نوع محرف، أو ضمن التعليقات وأسماء **ملفات الترويسة Header files**. ينبغي عليك تفقُّد ملفات توثيق نظامك إذا أردت استخدام ميزة دعم المحارف الموسّعة.

### 1.3.6 دالة main

يحتوي المثال 1.1 على دالتين، هما: دالة `show_message` ودالة `main`؛ فإذا صرفنا النظـر عن طـول دالـة `main` موازنةً مع الدالة `show_message`، فسنلاحظ أن الدالتين مبنيتان بالشكل نفسه، إذ تحتـوي كلا الـدالتين على اسمٍ وقوسين `()` متبـوعين بقـوس معقـوص، وتعليمـةٍ مركبـة محتـواة داخـل القوسـين المعقوصـين تتبِّع تعريف الدالة. على الرغم من أن الدالة المركبة مختلفةٌ عن الدالة الأخرى، إلا أنك ستجد قوس الإغلاق المعقـوص نفسه `}` الذي يتماشى مع القوس الأول `{`.

يُعد هذا المثال دالةً حقيقيّةً يمكن استخدامها في التطبيقات الواقعية، إذ تحتوي على عدة تعليمات ضـمن متن الدالة بدلًا من تعليمة واحدة في الدالة السابقة، ولربما لاحظت أيضًا أن الدالة غـير مصـرّح عنهـا باسـتخدام الكلمة `void`، لأن الدالة في الحقيقة تمرّر قيمة معينة، ولكننا سنتكلم عنها لاحقًا.

الشيء المميز بخصوص دالة `main` هو كونها أول دالة تُستدعى عند تنفيذ البرنـامج في بيئـة مستضـافة، إذ تستدعي لغة سي الدالة `main` أوّلًا عند تشغيل البرنامج، وهذا هو السبب في تسمية الدالة بهـذا الاسـم (main تعني رئيس)، وعلى هذا فهي دالة هامة، ولكن محتوى الدالة هام بقدر مساوٍ، وكما ذكرنا سابقًا يمكن أن تحتـوي الدالة على عدّة تعليمات بداخل التعليمة المركبة، دعونا نأخذ نظرة على هذه التعليمات.

### 1.3.7 التصريح Declaration

التعليمة الأولى هي:

```
int count;
```

وهي ليست تعليمة لتنفيذ أمرٍ ما، بل تعلن عن متغيرٍ جديد ضمن البرنامج، واسمه `count` من نـوع "عـدد صحيح integer" والكلمة التي تحدد هذا النوع من المتغيرات ضمن برنـامج سـي مُختصـرة إلى الكلمـة `int`. لا تدل جميع أسماء أنواع المتغيرات على نوعهـا بوضـوح في لغـة سـي، إذ يُسـتخدم اسـم نـوع المتغـير في بعض الأحيان مثل كلمةٍ مفتاحية مختصرة وفي أحيـان أخـرى يُكتب كـاملًا. لحسـن الحـظ يمكن تخمين نـوع البيانـات للكلمة `int` بقراءتها.

بفضل هذه التعليمة، يعلم المصرّف الآن أن هناك متغيّرًا باسم `count` لتخزين قيم الأعداد الصحيحة. يجب التصريح عن جميع المتغيرات قبل استخدامها في لغة سـي، على نقيض لغـة FORTRAN، الـتي يجب أن يـأتي التصريح قبل استخدام المتغير ضمن أي تعليمة.

> يُعد التصريح عن المتغير `count` **تعريفًا** عنه في ذات الوقت، وسنناقش الفرق بين الاثنين وسنلاحظ أن الفرق مهم.

### 1.3.8 تعليمة الإسناد Assignment Statement

بالانتقال إلى السطور التالية، نلاحظ **تعليمة الإسناد assignment statement**، وهي التعليمة التي أسندت أول قيمة للمتغير `count` (القيمة هي صفر في حالتنا هذه). كانت قيمة المتغير `count` قبل تعليمة الإسناد غير معرّفة undefined وغير آمنة الاستخدام، وربما تتفاجئ بحقيقة أن رمز الإسناد -أي **عامل الإسناد assignment operator**- يُمثَّل بإشارة مساواة واحدة `=`، وهذا التمثيل مستخدمٌ في معظم لغات البرمجة الحديثة، ولكنه ليس بمشكلة كبيرة.

إذًا، بالوصول لهذه النقطة في برنامجنا نكون قد صرّحنا عن متغير وأسندنا له قيمة الصفر، ماذا بعد؟

### 1.3.9 تعليمة الحلقة التكرارية While

سنتكلم عن واحدة من تعليمات التحكم بالحلقات، ألا وهي تعليمة `while` لنلقي نظرةً على شكلها العام:

```
while(expression)
        statement
```

هل هذا كل ما هنالك؟ نعم، هذه بنية تعليمة `while`، الجزء التالي في مثالنا هو:

```
count < 10
```

ويدعى باسم **التعبير العلائقي relational expression**، وهو مثال عن إحدى التعبيرات الصالحة الممكن استخدامها في جملة الحلقة التكرارية -مكان `expression`- ويُتبَع التعبير بتعليمة مركّبة، وهي مثال عن التعليمات الصالحة أيضًا الممكن استخدامها -مكان `statement`-. وهكذا، نستطيع تشكيل تعليمة `while` صحيحة.

إذا برمجت برنامجًا في السابق، فستلاحظ أن متن الحلقة سينفَّذ بصورةٍ متكررة طالما أن التعبير `count < 10` صحيح؛ وإذا أردنا برمجة حلقةٍ منتهية، فعلينا كتابة تعليمة ما تتسبّب بجعل التعبير السابق خاطئًا في مرحلة من المراحل، وهذا موجود في مثالنا فعلًا.

هناك تعليمتان فقط داخل متن الحلقة، إذ تمثِّل الأولى استدعاءً لدالة `show_message` وتُكتب تعليمة استدعاء الدالة منتهيةً بقوسين `()` تحتويان ضمنهما لائحة الوسطاء؛ فإذا لم تحتوي الدالة على أي وسيط، نكتب قوسين فارغين؛ وإذا احتوت على وسيط أو عدة وسطاء نكتب ذلك ضمن القوسين على النحو التالي:

```
/* call a function with several arguments */
function_name(first_arg, second_arg, third_arg);
```

استدعاء الدالة `printf` هو مثال آخر، وسنشرح المزيد عن هذا الموضوع في الفصل الرابع.

تمثّل التعليمة الأخيرة ضمن الحلقة تعليمة إسناد تضيف الرقم واحد إلى قيمة المتغير `count`، لكي نتوصل في نقطة ما إلى قيمة تجعل من التعبير الخاص بالحلقة خاطئًا.

### 1.3.10 تعليمة الإعادة return

التعليمة الأخيرة المتبقية في المثال هي تعليمة `return`، وتبدو للوهلة الأولى أنها استدعاءٌ لدالةٍ ما، ولكن التعليمة تُكتب على النحو التالي:

```
return expression;
```

والتعبير `expression` اختياري، إذ يتبّع مثالنا تنسيقًا شائعًا ألا وهو وضع التعبير ضمن قوسين، ولكن الأقواس غير ضرورية ولا تؤثر على عمل التعليمة.

تعيد تعليمة `return` قيمةً من الدالة الحالية الواقعة ضمنها إلى مستدعي caller الدالة؛ فإذا لم تُزوَّد التعليمة بالتعبير `expression` فستعاد قيمةٌ غير معروفة unknown إلى المستدعي، وهو أمرٌ خاطئ، عدا حالة إعادة `void`.

الدالة `main` غير مصرّح بنوع خاص بها على الإطلاق على عكس دالة `show_message`، فأيّ نوع من القيم تعيدها هذه الدالة؟ الإجابة هي `int`، إذ تفترض لغة سي نوع البيانات المُعاد `int` في حالة عدم تخصيص النوع بوضوح، لذا من الشائع أن تجد الدالة `main` مكتوبةً بهذه الطريقة:

```
int main(){
```

وهو تعبير مماثل لما ورد في مثالنا، ويعطي النتائج نفسها، لكنك لا تستطيع استعمال هذه الميزة للحصول على نوع اعتيادي للمتغيرات بالطريقة نفسها، ويجب أن تصرِّح عن نوعها بوضوح.

لكن ما الذي تعني القيمة المُعادة من الدالة `main` وإلى أين تُرسل؟ كانت القيمة تُرسل إلى نظام التشغيل أو الجهة التي شغّلت البرنامج في لغة سي القديمة، وفي البيئات المشابهة لنظام يونيكس UNIX، كانت القيمة "0" تعني "نجاح" العملية، بينما يدلّ على "فشل" العملية أي رقم آخر (غالبًا "1-"). حافظ المعيار عند قدومه على هذا التقليد، إذ يدل "0" على التنفيذ الناجح للبرنامج، ولكن هذا **لا يعني** أن القيمة "0" تُمرّر إلى البيئة المُضيفة، بل تُمرّر القيمة المناسبة للدلالة على نجاح البرنامج ضمن هذا النظام. يسبب هذا الكثير من الالتباس، لذا قد تجد استخدام القيمتين المعرّفتين "EXIT_SUCCESS" و"EXIT_FAILURE" ضمن ملف الترويسة `<stdlib.h>`.

يماثل استخدام التعليمة `return` ضمن الدالة `main` استخدام الدالة `exit` مزوّدًا بالقيمة المُعادة وسيطًا، والفرق هنا أن الدالة `exit` قد تُستدعى من **أي مكان** ضمن البرنامج، وأن توقف البرنامج في النقطة التي

استُدعيت فيها بعد إنجاز بعض العمليات النهائية. إذا أردت استخدام الدالة `exit`، **يجب** عليك تضمين ملف الترويسة `<stdlib.h>`، ومن هذه اللحظة فصاعدًا سنستخدم `exit` بدلًا من استخدام `return` ضمن الدالة `main`.

### 1.3.11 الملخص

تُعيد الدالة `main` قيمةً من نوع `int`.

يُماثل استخدام التعليمة `return` ضمن الدالة `main` استدعاء الدالة `exit`، الفرق هنا أنه من الممكن استدعاء `exit` في أي نقطة ضمن البرنامج.

إعادة القيمة 0 أو `EXIT_SUCCESS` يعني نجاح البرنامج، بينما تُعد أي قيمة أخرى فشلًا للبرنامج. مع أنّ المثال المُناقش قصير، إلا أنه سمح لنا بمناقشة العديد من مزايا اللغة المهمة، وهي:

- بنية البرنامج Program structure.
- التعليق Comment.
- تضمين الملفات File inclusion.
- تعريف الدوال Function definition.
- التعليمات المركبة Compound statements.
- استدعاء الدوال Function calling.
- التصريح عن المتغيرات Variable declaration.
- العمليات الحسابية Arithmetic.
- الحلقات التكرارية Looping.

لكننا طبعًا لم نناقش هذه المواضيع بتعمّق بعد.

## 1.4 بعض البرامج البسيطة بلغة سي

بما أننا ما زلنا في مرحلة التكلم عن لغة سي عمومًا، دعونا نتناول مثالين آخرين، إذ ستجد أن بعض التعليمات الموجودة ضمن هذين المثالين أصبحت معروفةً بالنسبة لك ولن نتطرّق إليها، ولكننا سنتكلّم عن المزايا والتعليمات الجديدة التي لم نشرحها بعد عن اللغة.

### 1.4.1 برنامج لإيجاد الأعداد الأولية

```
/*
*
*
* Dumb program that generates prime numbers.
*/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){
    int this_number, divisor, not_prime;

    this_number = 3;

    while(this_number < 10000){
            divisor = this_number / 2;
            not_prime = 0;
            while(divisor > 1){
                    if(this_number % divisor == 0){
                            not_prime = 1;
                            divisor = 0;
                    }
                    else
                            divisor = divisor-1;
            }

            if(not_prime == 0)
                    printf("%d is a prime number\n", this_number);
            this_number = this_number + 1;
    }
    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 2.1]

هناك الكثير من الأمور الجديدة المثيرة للاهتمام في هذا البرنامج. أوّلًا، البرنامج يعمل بغباء بعض الشيء، إذ يقسِّم العدد على جميع الأرقام الواقعة في المجال بين نصف قيمته والرقم 2 للتحقّق مـا إذا كـان أوليًّا أم لا، وإذا كان هناك أي قسمةٍ دون باقٍ فهذا يعني أنه ليس أوليًّا. هذه المرة الأولى الـتي نسـتخدم فيهـا كلًّا من العامـل % وعامل المساواة المُمثَّل بإشارتَي مساواة ==، إذ يتسبب هذا العامل بكثير من الأخطاء في برنامجك عـادةً، نظـرًا للخلط بينه وبين عامل الإسناد =، فكن حذرًا.

المشكلة في فحص المساواة هذا وأيّ فحص آخر، هي أن اسـتبدال == بـالرمز = هـو تعليمـة صـالحة، ففي الحالة الأولى (استخدام ==) تُوازَن القيمتان وتُفحص حالة المساواة، كما في المثال التالي:

```
if(a == b)
while (c == d)
```

كما يمكن استخدام عامل الإسناد = في الموضع ذاته، ولكن لإسناد القيمة الواقعة على يسار الإشارة للمتغيّر على يمينها. تصبح المشكلة مهمةً أكـثر إذا كنت معتـادًا على البرمجـة باللغـات الـتي تسـتخدم عامـل المسـاواة بصورةٍ مماثلة لما تستخدمه لغة سي لعامل الإسناد، إذ لا يوجد أي شيء يمكنك فعله لتغيير ذلك سوى الاعتيـاد على هذا الأمر من الآن فصاعدًا، ولحسن الحظ تعطيك بعض المصرّفات الحديثة بعض التحذيرات عندما تلاحـظ استخدامًا غريبًا لعامل الإسناد في غير موضعه المعتاد، ولكن يصبح الأمر مزعجًا أحيانًا إذا كان هذا فعلًا مـا تريـد فعله وليس خطأً.

نلاحظ في مثالنا السـابق أيضًـا أول اسـتخدام للتعليمـة if، إذ تفحص هـذه التعليمـة تعبـيرًا expression موجودًا داخل القوسين على نحـوٍ مشـابه لتعليمـة while، إذ تتطلب جميـع التعليمـات الشـرطية الـتي تتحكّم بتدفق البرنامج تعبيرًا محتوًى داخل قوسين بعد الكلمة المفتاحية، وفي هـذه الحالـة الكلمـة المفتاحيـة هي if. تُكتب التعليمة if على النحو التالي:

```
if(expression)
        statement

if(expression)
        statement
else
        statement
```

يوضِّح المثال المبين أعلاه أن التعليمة تأتي بنموذجين، إذ يحتوي الأول على الكلمة if والثـاني على الكلمـة else؛ فإذا كان التعبير صحيحًا وفقًا للنموذج الأول، فستُنفَّذ مجموعة التعليمات الموجودة داخـل متن if، أمـا إذا كان التعبير خاطئًا فلن تُنفّذ؛ بينما تنفّذ التعليمات الموجودة ضمن else وفقًا للنموذج الثاني فقط في حالـة كان التعبير خاطئًا (أي تعبير if السابق لها).

يتميز استخدام تعليمة `if` بمشكلة شائعة، ألقِ نظرةً على المثال التالي وأجِب، هل ستُنفَّذ التعليمة `statement-2` أم لا؟

```
if(1 > 0)
        if(1 < 0)
                statement-1
else
        statement-2
```

الإجابة هي **نعم** ستُنفَّذ التعليمة. لا تركّز تفكيرك على مسافة الإزاحة فهي مضللةٌ غالبًا، فقد تكون تعليمة `else` تابعةً لتعليمة `if` الأولى أو الثانية بحسب وصف كلٍّ منهما، لذا علينا اللجوء لقاعدةٍ ما لجعل الأمور أوضح. القاعدة ببساطة هي أن `else` تابعةٌ لتعليمة `if` الأقرب (التي تسبق `else`)، والتي لا تحتوي على تعليمة `else` مسبقًا. لنجعل البرنامج يعمل كما نريد وفق تنسيق مسافات الإزاحة، علينا إنشاء تعليمة مركبة باستخدام الأقواس المعقوصة كما يلي:

```
if(1 > 0){
        if(1 < 0)
                statement-1
}
else
        statement-2
```

تتبَع لغة سي -على الأقل في هذه الحالة- لعمل معظم لغات البرمجة واصطلاحاتهم. في الحقيقة، قد يشعر بعض القراء أن هذه القاعدة "بديهية" إن سبق وتعاملوا مع لغة برمجة مشابهة للغة سي وأنها لا تستحق الذكر. لنأمل أن يفكر الجميع بهذه الطريقة.

### 1.4.2 عامل القسمة

يُشار إلى عامل القسمة بالرمز "/"، وعامل باقي القسمة بالرمز "%". تفعل عملية القسمة المتوقّع منها، إلا أن إجراء القسمة على أعداد صحيحة `int` ستعطي نتيجةً مقربةً باتجاه الحد الأدنى (الصفر)، إذ تعطي العملية `5/2` مثلًا النتيجة `2`، وتعطي التعليمة `5/3` النتيجة `1`؛ وللحصول على القيمة المقتطعة من الناتج نستخدم عامل باقي القسمة، إذ تعطينا العملية `5%2` النتيجة `1`، والعملية `5%3` النتيجة `2`. تعتمد إشارة باقي القسمة وناتج القسمة على المقسوم والمقسوم عليه وهي مُعرّفة في المعيار وسنناقشها لاحقًا في الفصل الثاني.

### 1.4.3 مثال عن تنفيذ عملية الدخل

من المفيد أن نكون قادرين على الحصول على الدخل وكتابة برامج قادرة على طباعة وعـرض النتـائج ضـمن قوائم أو جداول في الخرج، والطريقة الأبسط لتنفيذ هذا هي عن طريق استخدام الدالة `getchar`، وهي الطريقة الوحيدة التي سنناقشها حاليًّا؛ إذ تقرأ هذه الدالة كلّ محرف على حدة من دخل البرنامج وتعيد قيمـةً عدديّـة `int` تمثّله، ويمكن استخدام هذه القيمة الممثلة للمحرف في طباعة المحـرف ذاتـه في خـرج البرنـامج، ويمكن أيضًـا موازنة هذا المحرف (القيمة) مع محارف معيّنة أو محـارف قُـرأت مسـبقًا، إلا أن الاسـتخدام الأكـثر منطقيـة هـو موازنة المحرف المُدخل مع محرف معيّن.

لا تُعد موازنة قيمة المحارف ما إذا كانت أصغر أو أكبر خيارًا جيّدًا، إذ لا يوجد أي ضـمان بـأن قيمـة `a` أصـغر من قيمة `b`، مع أن ذلك الأمر محققٌ في معظم الأنظمة، ولكن الضمان الوحيد هنا الذي يقدمه لـك المعيـار هـو أن القيمة ستكون متتابعة من 0 إلى 9. ألقِ نظرةً على المثال التالي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main(){
        int ch;

        ch = getchar();
        while(ch != 'a'){
                if(ch != '\n')
                        printf("ch was %c, value %d\n", ch, ch);
                ch = getchar();
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 3.1]

هناك ملاحظتان جديرتان بالاهتمام، هما:

- سنجد في نهاية كل سطر دخل المحرف `\n` (محرف ثابت)، وهو المحرف ذاته الذي نسـتخدمه في دالـة `printf` عندما نريد طباعة سطر جديد. نظام الدخل والخرج الخاص بلغـة سـي غـير مبـني على مفهـوم الأسطر بل على مفهوم المحـارف؛ فـإذا كنت تريـد التفكـير بـالأمر من منطلـق مفهـوم الأسـطر، فـانظر للمحرف `\n` على أنه إعلان لنهاية السطر.

- استخدام %c لطباعة المحرف بواسطة الدالة printf، إذ يسمح لنا هذا الأمر بطباعة المحرف على أنه محرف على الشاشة، بالموازنة مع استخدام %d الذي سيطبع المحرف ذاته ولكن بتمثيله العددي المُستخدم ضمن البرنامج.

إذا جربت تنفيذ هذا البرنامج بنفسك، قد تجد أن بعض الأنظمة لا تمرّر المحرف الواحد تلو الآخر عند كتابته، بل تجبرك على كتابة سطر كاملٍ للدخل أولًا، ثم تبدأ معالجة المحرف الواحد تلو الآخر. قد يبدو الأمر مشوّشًا لبعض المبتدئين عندما يكتبون محرفًا ما ولا يحدث شيء بعد ذلك، وليس للغة سي أي علاقةٍ بذلك، بل يعتمد الأمر على حاسوبك ونظام تشغيله.

### 1.4.4 المصفوفات البسيطة

يكون غالبًا استخدام **المصفوفات arrays** في لغة سي للمبتدئين بمثابة تحدٍ، إذ أن التصريح عن المصفوفات ليس صعبًا، بالأخص المصفوفات أحادية البعد one-dimensional، ولكن سبب الأخطاء هنا هو بدء الدليل index الخاص بها من الرقم 0. للتصريح عن مصفوفة مؤلفة من 5 أعداد من نوع int، نكتب:

```
int something[5];
```

تستخدم لغة سي الأقواس المعقوفة square brackets للتصريح عن المصفوفات، ولا تدعم أيّ مصفوفة لا تقع أدلتها بين 0 وما فوق. العناصر الصالحة في مثالنا هي something[0] إلى something[4]، و something[5] **غير موجود** في المصفوفة وهو عنصر غير صالح.

يقرأ البرنامج التالي المحارف من الدخل، ويرتبها وفقًا لقيمتها العددية، ويطبعها في الخرج مرةً أخرى. ألقِ نظرةً على البرنامج وحاول فهم ما يحصل، إذ لن نتكلم عن الخوارزمية مفصلًا في شرحنا.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define ARSIZE  10
main(){
        int ch_arr[ARSIZE],count1;
        int count2, stop, lastchar;
        lastchar = 0;
        stop = 0;
        /*
         * Read characters into array.
         * Stop if end of line, or array full.
         */
        while(stop != 1){
```

```
                ch_arr[lastchar] = getchar();
                if(ch_arr[lastchar] == '\n')
                        stop = 1;
                else
                        lastchar = lastchar + 1;
                if(lastchar == ARSIZE)
                        stop = 1;
        }
        lastchar = lastchar-1;

        /*
         * Now the traditional bubble sort.
         */
        count1 = 0;
        while(count1 < lastchar){
                count2 = count1 + 1;
                while(count2 <= lastchar){
                        if(ch_arr[count1] > ch_arr[count2]){
                                /* swap */
                                int temp;
                                temp = ch_arr[count1];
                                ch_arr[count1] = ch_arr[count2];
                                ch_arr[count2] = temp;
                        }
                        count2 = count2 + 1;
                }
                count1 = count1 + 1;
        }
        count1 = 0;
        while(count1 <= lastchar){
                printf("%c\n", ch_arr[count1]);
                count1 = count1 + 1;
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 4.1]

ستلاحظ استخدام الثابت المُعرّف ARSIZE في كل مكان ضمن المثال السابق بدلًا من كتابة حجم المصفوفة الفعلي بصورةٍ صريحة، ويمكننا بفضل ذلك تغيير العدد الأقصى من المحارف الممكن ترتيبها ضمن هذا البرنامج بتغيير سطرٍ واحدٍ منه وإعادة تصريفه. الانتباه إلى امتلاء المصفوفة هي نقطة غير مشدّد عليها ولكنها هامّة لأمان برنامجنا؛ فإذا نظرت بتمعّن للمثال، ستجد أن البرنامج يتوقف عند تمرير العنصر ذو الدليل ARSIZE-1 للمصفوفة، وذلك لأن أي مصفوفة بحجم N عنصر تحتوي العناصر من 0 إلى N-1 فقط أي ما مجموعه N عنصر.

على عكس بعض اللغات، لا تُعْلمك لغة سي أنك وصلت إلى نهاية المصفوفة، بل تُنتج ذلك بما يعرف باسم **التصرف غير المحدد undefined behaviour** في البرنامج، وهذا ما يتسبب ببعض الأخطاء الغامضة في برنامجك. يتجنّب المبرمجون الخبراء هذا الخطأ عن طريق اختبار البرنامج المتكرّر للتأكد من عدم حصول ذلك عند تطبيق الخوارزميّة المستخدمة، أو عن طريق فحص القيمة قبل محاولة الحصول عليها من المصفوفة. وتُعد هذه المشكلة من أبرز مصادر أخطاء وقت التشغيل run-time في لغة سي، لقد حذرتك!

خلاصة القول:

- تبدأ المصفوفات بالدليل 0 دائمًا، ولا يمكنك تجنّب هذا الاصطلاح.
- تحتوي المصفوفة من الحجم "N" على عناصر من الدليل "0" إلى الدليل "N-1"، والعنصر "N" غير موجود داخل المصفوفة هذه، ومحاولة الوصول إليه هو خطأ فادح.

## 1.5 مصطلحات

هناك نوعان من الأشياء المختلفة في البرامج المكتوبة بلغة سي، أشياء تُستخدم لتخزين القيَم، وأشياء تدعى بالدوال، وبدلًا عن الإشارة للشيئين بصورةٍ منفصلة بعبارة طويلة، نعتقد أنه من الأفضل أن نرمز إليهما بتسميةٍ واحدةٍ عامّة ألا وهي "الكائنات objects"، وسنستخدم هذه التسمية كثيرًا في الفصول القادمة، إذ يتبع الشيئان نفس القواعد إلى حدٍّ ما؛ ولكن يجدر الذكر هنا إلى أن معنى المصطلح هذا مختلف عمّا يقصده المعيار، إذ يُستخدم مصطلح "كائن" في المعيار على نحوٍ خاص لوصف منطقة من الذاكرة المحجوزة لتمثيل قيمة، والدالة مختلفة عن هذا التعريف تمامًا. يؤدي هذا لاستخدام المعيار المصطلحين على نحوٍ منفصل وغالبًا ما ستجد العبارة "... الدوال والكائنات ..."؛ ونظرًا لأن هذا الاختلاف لا يؤدي لكثيرٍ من الخلط ويحسِّن قراءة النص في كثيرٍ من الحالات، فسنستمرّ في استخدام المصطلح العامّ "كائن" للدلالة على الدوال والقيَم، وسنستخدم المصطلح "دالة" و"كائن بيانات Data object" عندما نريد التمييز بين الاثنين وفقًا للحالة. لذا، قد تجد اختلافًا بسيطًا في المعنى إن كنت تقرأ المعيار.

## 1.6 خاتمة

قدّم هذا الفصل العديد من مبادئ اللغة وأساسياتها -بصورةٍ غير رسمية، إذ تشكّل الـدوال اللبنـة الأساسـيّة لبناء البرامج في لغة سي C وسنستعرض لاحقًا شـرحًا مفصّـلًا عن هـذه الكائنـات الأساسـية، لكنـك غالبًـا تفهم الأمور الأساسية المتعلقة بها على نحوٍ كافٍ يسمح لك بمتابعة استخدامها وفهمها في الفصول القادمة.

بـالرغم من أنّنـا تكلمنـا عن فكـرة الـدوال ضـمن المكتبـة، إلا أننـا لم نوضـح أهميتهـا الشـديدة في برمجـة التطبيقات بلغة سي، إذ تُعد المكتبة القياسية **مهمة جدًا** لتحسين عمل البرامج المحمولة portable للاستخدام العام، إضافةً للمساعدة في عملية إنتاج البرامج بواسطة الدوال التي تحتويها.

سنشرح قريبًا استخدام المتغيرات والتعبيرات والعمليات الحسابية بتفصيل أكبر، إذ استعرض هذا الفصـل بصورةٍ بسيطة أن لغة سي مختلفةً بعض الشيء عن لغات البرمجة الحديثة الأخرى.

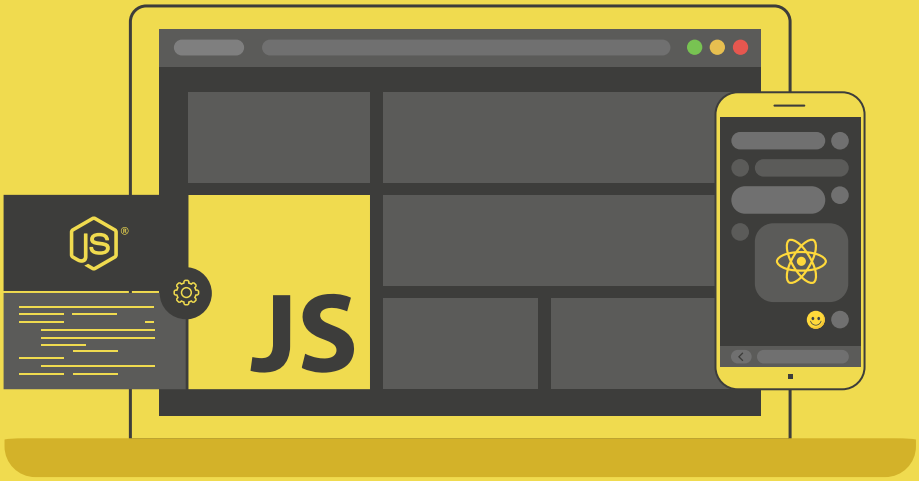
بقي لنا استعراض البيانات المنظّمة، مع أن التكلُّم عن المصفوفات كان وجيزًا.

## 1.7 تمارين

1. اكتب المثال 1.1 على حاسوبك وشغله وافحصه.
2. بالاستعانة بالمثال 2.1، اكتب برنامجًا يطبـع زوجين من الأعـداد الأوليـة المختلفـة بحيث يكـون الفـرق بينهما 2، على سبيل المثال 11 و13، 29 و31 (إن استطعت إيجـاد نمـط بـالنظر لهـذه الأرقـام مبـارك عليك! أنت عبقري، أو مخطئ).
3. اكتب دالة تعيد قيمـة عدديّـة `int` تمثـل القيمـة العشـرية للمحـارف الموجـودة في سلسـلة نصـية مـا باستخدام الدالة `getchar`. على سبيل المثال، إذا أُدخل الرقم 1 متبوعًا بالرقم 4 متبوعًا بالرقم 6، يجب أن تُعيد الدالة العدد 146. لك أن تفترض أن دخـل المسـتخدم سـيكون محصـورًا بين الأرقـام 0 و9 وأن هذه الأرقام متتالية (ومرتبة كمـا يقـول المعيـار) وأنـه يتعين على الدالـة التعامـل مـع الأعـداد الصـالحة والأسطر الجديدة، لذا تستطيع غض النظر عن تشخيص الأخطاء الناتجة عن الدخل غير المناسب.
4. استخدم الدالة التي كتبتها في التمرين السابق لقـراءة سلسـلة من الأرقـام، وإسـناد كـلّ من الأرقـام إلى مصفوفة مصرّح عنها في الدالة `main` عن طريق استدعاء الدالة عدة مرّات، ورتب الأرقام ترتيبًـا تنازليًّا، واطبع مصفوفة الأرقام الناتجة.
5. مجدّدًا، وباستخدام الدالة من التمرين 3.1، اكتب برنامجًـا يقـرأ الأرقـام من الـدخل، واطبـع هـذه الأرقـام بالتمثيل الثنـائي والعشـري والسداسـي عشـري hexadecimal، دون اسـتخدام أي من مـيزات الدالـة `printf` عدا المذكور في الفصل هذا، بالأخص ميّزة الطباعة بالنظام السداسـي عشـري. من المفـترض

أن تحل هذا التمرين بتحديد كل عدد ستطبعه في وقتـه وأن تتأكـد أن هـذه الأعـداد مطبوعـة بـالترتيب الصحيح، هذا التمرين ليس صعب، ولكنه ليس بسيطًا بالضرورة أيضًا.

# دورة تطوير التطبيقات
# باستخدام لغة JavaScript




## مميزات الدورة

- بناء معرض أعمال قوي بمشاريع حقيقية
- وصول مدى الحياة لمحتويات الدورة
- تحديثات مستمرة على الدورة مجانًا
- شهادة معتمدة من أكاديمية حسوب
- إرشادات من المدربين على مدار الساعة
- من الصفر دون الحاجة لخبرة مسبقة

**اشترك الآن**

# 2. المتغيرات والعمليات الحسابية

## 2.1 بعض الأساسيات

سنلقي في هذا الفصل نظرةً على الأجزاء التي لم نلقِ لها بالًا في الفصل السابق، الـذي كـان بمثابـة مقدمـة سريعة عن لغة سي، التحدي هنا هو التكلم عن أساسيات اللغة بصورةٍ موسّعة وكافية للسـماح لـك بفهم المزيـد عن اللغة دون إغراق المبتدئين بالمعلومات والتفاصيل غير الضرورية في هذه المرحلة.

بالنظر إلى أن هذا الفصـل فهـو طويـل ويغطي بعض المفـاهيم والمشـاكل الدقيقـة الـتي لا تقـرأ عنهـا في النصوص التقديمية للغة، فيجب عليك أن تقرأه بعقلية منفتحة وبمزاج جيّد.

قد يجد دماغك المرهَق التمارين الموجودة بين الفقرات استراحةً مفيدة، إذ ننصـحك بشـدّة أن تحـاول حـلّ التمارين هذه بينما تقرأ الفصل، إذ أن ذلك من شأنه أن يساعدك في موازنـة الكفـة بين تعلُّم المفـاهيم الجديـدة -التي قد تشعر في بعض المراحل بغزارتها- والتمارين.

حان الوقت لتقديم بعض الأساسيات في لغة سي.

## 2.2 المحارف المستخدمة في لغة سي

هذه الفقرة مثيرة للاهتمام، وسندعو المحارف المُستخدمة في لغة سي بأبجدية سي C، وهذه الأبجدية مهمة جدًا، وربما يكون هذا الجزء الوحيد من هذا الفصل الذي يمكنك قراءته بصورةٍ سطحية وفهم جميع محتوياتـه من المرة الأولى. لذلك، اقرأه لتضمن أنك تعرف محتوياته والمعلومات الواردة فيه جيّدًا وتذكر أن تعود إليـه في حـال أردت مرجعًا بهذا الخصوص.

### 2.2.1 الأبجدية الاعتيادية

تعرّف قلةٌ من لغات البرمجة أبجديتها أو تلقي بالًا لهذا الأمر، إذ أن هناك افتراضًا مسبقًا بأن أحرف الأبجدية الإنجليزية وخليطًا من علامات الترقيم والرموز ستكون متاحةً في أي بيئة داعمة للّغة، ولكن هذا الافتراض غير محقّقٍ دائمًا. تعاني لغات البرمجة القديمة من هذه المشكلة بدرجةٍ أقل حدّة، ولكن تخيل إرسال برنامج مكتوب بلغة سي عبر جهاز تلكس Telex أو عن طريق نظام بريد إلكتروني يحتوي على بعض القيود، أتعي أهمية الأمر الآن؟

يوصّف المعيار مجموعتين مختلفتين من المحارف: واحدةٌ تُكتب بها البرامج وأخرى تُنفَّذ بها، وذلك للسماح للأنظمة المختلفة بتصريف البرنامج وتنفيذه بغض النظر عن اختلاف طرق ترميز المحارف لكل نظام. في الحقيقة، الأمر مهمّ فقط في حال استخدامك محارفًا ثابتة constant في المعالج المُسبق preprocessor، إذ من الممكن أن تختلف قيم هذه المحارف عند التنفيذ، وهذا السلوك معرّف عند التنفيذ implementation-defined، فهو موثّق بالتأكيد، ولكن لا تقلق بخصوص هذا الأمر الآن.

يملي المعيار وجود أبجدية مؤلفة من 96 رمزًا للغة سي، وهي:

الجدول 1: أبجدية لغة سي

| |
|---|
| a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z |
| A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z |
| 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 |
| ! " # % & ' ( ) * + , - . / |
| : ; < = > ? [ \ ] ^ _ { |
| المسافات spaces ومسافات الجدولة الأفقية والعمودية horizontal and vertical tab ومحرف السطر الجديد newline وفاصل الصفحة form feed |

اتّضح أن معظم أبجديات الحاسوب الشائعة تحتوي على جميع الرموز اللازمة للغة سي، عدا بعض الحالات الشاذة النادرة مثل المحارف الموجودة في الأسفل، والتي تُعد مثالًا عن محارف أبجدية لغة سي المفقودة من مجموعة المحارف ذات 7 بت لمعيار منظمة المعايير العالمية International Standards Organization المدعوّ ISO 646، وهي مجموعة جزئية من المحارف المُستخدمة في أبجديات الحاسوب على نطاقٍ واسع.

```
# [ \ ] ^ { | } ~
```

لتضمين هذه الأنظمة التي لا تحتوي على مجموعة المحارف البالغ عددها 96 والمطلوبة لكتابة برامج بلغة سي، حدّد المعيار طريقةً لاستخدام معيار ISO 646 لتمثيل المحارف المفقودة ألا وهي تقنية **ثُلاثيات المحارف trigraphs**.

## 2.2.2 ثلاثيات المحارف

ثلاثيات المحارف Trigraphs هي سلسلةٌ من ثلاثة محارف ضمن المعيار ISO 646، وتُعامل معاملة محرفٍ واحدٍ ضمن أبجدية لغة سي. تبدأ جميع ثلاثيات المحارف بعلامتَي استفهام "??"، ويساعد هذا في الدلالة على أن هناك شيءٌ "خارجٌ عن المألوف" ضمن البرنامج. يوضّح الجدول 2 أدناه جميع ثلاثيات المحارف المُعرّفة ضمن المعيار.

الجدول 2: ثلاثيات المحارف

| محرف أبجدية سي C | ثلاثي المحرف |
|---|---|
| # | ??= |
| [ | ??( |
| ] | ??) |
| { | ??< |
| } | ??> |
| \ | ??/ |
| \| | ??! |
| ~ | ??- |
| ^ | ??' |

دعنا نفترض مثلًا، أن طرفيتك terminal لا تحتوي على الرمز "#" لكتابة سطر المعالج المُسبق التالي:

```
#define MAX     32767
```

عندها، نستطيع استخدام طريقة ثلاثيات المحارف على النحو التالي:

```
??=define MAX   32767
```

ستعمل ثلاثيات المحارف حتى لو كان المحرف "#" موجودًا، ولكن هذه التقنية موجودةٌ لمساعدتك في الحالات الحرجة ولا يُحبَّذ استخدامها بديلًا عن محارف أبجدية سي دومًا.

ترتبط إشارة الاستفهام "?" بالمحرف الواقع على يمينها، لذا في أي سلسلة مؤلفة من عدّة إشارات استفهام، تشكِّل إشارتان فقط ضمن السلسلة ثلاثي محارف، ويعتمد المحرف الذي تمثِّله على المحرف الذي يقع بعد الإشارتين مباشرةً، وهذا من شأنه أن يجنّبك كثيرًا من الالتباس.

من الخطأ الاعتقاد أن البرامج المكتوبة بلغة سي، والتي تلقي بالًا كبيرًا لإمكانية تشغيلها على نحوٍ محمول portable وعلى جميع الأنظمة مكتوبةٌ باستخدام ثلاثيات المحارف "إلا في حال ضرورة نقلها إلى نظام يدعم معيار ISO 646 فقط"؛ فإذا كان نظامك يدعم جميع المحارف البالغ عددها 96 محرفًا، واللازمة لكتابة البرامج

بلغة سي، فيجب استخدامها دون الاستعانة بثلاثيات المحارف، إذ وُجدت هذه التقنية لتنفيذها ضمن بيئات محدودة، ومن السهل جدًا كتابة مفسّر يحوِّل برنامجك بين التمثيلين عن طريق فحص كل محرف بمحرفه.

ستميّز جميع المصرّفات المتوافقة مع المعيار ثلاثيات المحارف عندما تجدها، إذ أن تبديل ثلاثيات الأحرف هو من أولى العمليات التي يجريها المصرّف على البرنامج.

### 2.2.3 المحارف متعددة البايت Multibyte Characters

أُضيف دعم المحارف متعددة البايت multibyte characters إلى المعيار، ولكن ما هو السبب؟

تتضمن نسبةٌ كبيرة من الحوسبة الاعتيادية اليومية بياناتٍ ممثّلة بنص بشكلٍ أو بآخر، وساد الاعتقاد في مجال الحوسبة أنه من الكافي دعم ما يقارب مئة محرف مطبوع فقط، ومن هنا كان عدد المحارف الممثلة لأبجدية سي 96 محرفًا، وذلك بناءً على متطلبات اللغة الإنجليزية وهذا الأمر ليس مفاجئًا بالنظر إلى أن معظم سوق تطوير البرمجيات والحوسبة التجاري كان في الولايات المتحدة الأمريكية. تُعرف مجموعة المحارف هذه باسم **المخزون repertoire** وتتناسب مع 7 أو 8 بتات من الذاكرة، وهذا السبب في أهمية استخدام 8-بت واحدةً لتخزين وقياس للبيانات بصورةٍ أساسية في معيار US-ASCII ومعمارية الحواسيب المصغرة minicomputers والحواسيب الدقيقة microcomputers.

تتّبع لغة سي أيضًا توجّهًا في تخزين البيانات باستخدام البايت byte، إذ أن أصغر وحدات التخزين الممكن استخدامها مباشرةً في لغة سي هي البايت، والمعرّفة بكونها تتألف من 8 بِت. قد تشكو الأنظمة والمعماريات القديمة التي لم تُصمم مباشرةً لدعم ذلك من بطء بسيط في الأداء عند تشغيل لغة سي، لكن لا ينظر معظم الناس لذلك الأمر بكونه مشكلةً كبيرة.

لربما كانت الأبجدية الإنجليزية مقبولةً لتطبيقات معالجة البيانات حول العالم في وقتٍ مضى، إذ استُخدمت الحواسيب في أماكن يتوقّع من مستخدميها الاعتياد على هذا الأمر، لكن هذا لا يصلح في زمننا الحالي؛ إذ أصبح من الضروري في وقتنا المعاصر تزويد الأنظمة بوسائل معالجة البيانات وتخزينها باللغة الأم لمستخدميها. قد نستطيع حشر جميع المحارف المستخدمة في لغات كلٍّ من الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا الغربية ضمن مجموعة محارف لا يتجاوز حجمها 8 بِت لكل محرف، ولكن الأمر مستحيلٌ بالنسبة للغات الآسيوية.

هناك طريقتان لتوسعة مجموعة المحارف، الأولى عن طريق إضافة عددٍ معين من البايتات (عادةً اثنين) لكل محرف، وهذه هي الطريقة المصممة لدعم محارف أكبر حجمًا في لغة سي؛ أما الطريقة الأخرى فهي باستخدام مخطط ترميز الإدخال بالإزاحة shift-in والخرج بالإزاحة shift-out؛ وهو ترميزٌ شائع في قنوات الاتصال ذات سعة 8-بت. ألقِ نظرةً على سلسلة المحارف التالية:

```
a b c <SI> a b g <SO> x y
```

إذ يعني المحرف <SI> "بدّل إلى اليونانية" والمحرف <SO> "بـدّل مجـددًا إلى الإنجليزيـة"، ويعـرض جهـاز العرض المُهيّأ للعمل وفق هذا الترميز النتيجة على النحو التالي: a, b, c, alpha, beta, gamma, x, y. هذه هي الطريقة المُتبعة تقريبًا في معيار shift-JIS الياباني، والاختلاف في ذلك المعيار هـو أن المحـارف الموجـودة ضمن الإدخال بالإزاحة تتألف من مِحرفين يُستخدمان في تمثيل محرفٍ واحدٍ باللغة اليابانية، وهناك العديـد من الطرق البديلة التي تستخدم عدة محارف مدخلة بالإزاحة، ولكنها أقل شيوعًا.

يسمح المعيار الآن باستخدام مجموعـات المحـارف الموسّـعة extended character sets، إذ تُسـتخدم المحارف المُعرفـة مُسـبقًا والبـالغ عـددها 96 في كتابـة برنـامج بلغـة سـي، ولكن مجموعـة المحـارف المُوسـعة مسموحة في كتابة التعليقات والسلاسل النصية والمحارف الثابتة وأسماء ملفات الترويسة (جميع ما ذُكر يمثـل بيانات وليسَ جـزءًا من كتابـة البرنـامج). يضـع المعيـار بعض القواعـد البديهيـة لوصـف طريقـة اسـتخدام هـذه المجموعات، ولن نكررها هنا، لكن أبرزها هو أن البايت ذو القيمة الصفرية يُفسّر محرفًا **فارغًـا null** بغض النظـر عن أي حالة إزاحة. هذا المحرف مهم لأن لغة سي ترمز لنهاية السلسلة النصية به وتعتمـد عليـه العديـد من دوال المكتبات. هناك متطلبٌ آخر ألا وهو أن سلاسـل المحـارف متعـددة البـايت يجب أن تبـدأ وتنتهي ضـمن حالـة الإزاحة المبدئية.

يصف المعيار النوع char بكونه مناسبًا لتخزين قيمـة جميـع المحـارف ضـمن "مجموعـة محـارف التنفيـذ execution character set" التي ستكون مُعرفةً في توثيق نظامك؛ وهذا يعني (في المثال السابق) أن نـوع char يمكنه تخزين 'a' أو 'b' أو محرف الإزاحة إلى اللغة اليونانية بنفسه <SI>، إذ لا يوجد أي فـرق في القيم المخزنة بداخل المتغير من نوع char بسبب تقنية الإدخال والإخراج بالإزاحة؛ وهذا يعني أنه لا يمكننـا تمثيـل 'a' على أنه محرف "ألفا" في اللغة اليونانية، وحتى نستطيع تحقيق ذلك يلزمنا أكـثر من 8 بتـات، وهـو أكـبر من حجم char في معظم الأنظمة، وهنا يأتي دور نوع المتغير wchar_t الـذي قدَّمـه المعيـار، ولكن يجب تضـمين ملف الترويسة <stddef.h> قبل استخدامه، لأن wchar_t معرّفٌ على أنه اسم بديل عن نوعٍ موجودٍ في لغة سي. سنناقش هذا الأمر بتوسع أكبر لاحقًا.

ختامًا، نستطيع تلخيص ما سبق:

- تتطلب لغـة سـي مجموعـة محـارف عـددها 96 محـرف على الأقـل لاسـتخدامها في محـارف الشـيفرة المصدرية للبرنامج.
- لا تحتوي جميع مجموعات المحارف على 96 محرف، بالتالي تسمح ثلاثيات المحارف للمعيار ISO 646 الأساسي كتابة برامج سي في حال الضرورة.
- أُضيفت المحارف متعددة البايت حديثًا مع المعيار، وتدعم:

- المحارف متعددة البايت المُرمّزة بالإزاحة Shift-encoded multibyte characters، التي تسمح بحشر المحارف الإضافية ضمن سلاسل محارف "اعتيادية"، بحيث يمكننا استخدام النوع char معها.
- المحارف الموسّعة wide characters التي تتسع لمساحة أكبر من المحارف الاعتيادية، ولها نوع بيانات مختلف عن النوع char.

## 2.3 البنية النصية للبرامج

### 2.3.1 تخطيط البرنامج

اعتمدت أمثلتنا حتى اللحظة في تنسيقها على المسافات البادئة indentation والأسطر الجديدة newlines، وهذا الأسلوب في التنسيق شائع في لغات البرمجة التي تنتمي إلى عائلة لغة سي، إذ تُعد هذه اللغات لغات "حرة التنسيق free format" وتُستخدم هذه الحرية في كتابة وتنسيق السطور البرمجية بحيث يحسِّن قراءتها ويبرز تسلسل منطقها. تُستخدم محارف المسافات الفارغة space بما فيها مسافات الجدولة tab الأفقية لإنشاء المسافات البادئة في أي مكان دون أن تؤثّر على عمل البرنامج عدا ضمن المعرِّفات identifiers والكلمات المفتاحية. تعمل الأسطر الجديدة على نحوٍ مماثل لعمل المسافات الفارغة ومسافات الجدولة **باستثناء** أسطر أوامر المعالج المسبق، الذي يمتلك بنية سطريّة line-by-line.

هناك حلان يمكنك اللجوء إليهما في حال كان أحد السطور طويلًا جدًا وغير مريحًا للقراءة، إذ يمكنك استبدال محرف المسافة space بمحرف سطر جديد، بحيث يصبح لديك سطرين بدلًا من سطرٍ واحد. ألقِ نظرةً على المثال التالي للتوضيح:

```
/* a long line */
a = fred + bill * ((this / that) * sqrt(3.14159));
/* the same line */
a = fred + bill *
        ((this / that) *
        sqrt(3.14159));
```

لن تستطيع في بعض الحالات استبدال المحارف بالطريقة السابقة، وذلك بسبب اعتماد المعالج المسبق على "تعليمات" السطر الواحد، ولحلّ هذه المشكلة يمكننا استخدام السلسلة "n" التي تعني الانتقال لسطرٍ جديد، إذ يصبح هذا المحرف غير مرئي لنظام تصريف لغة سي، ويمكن نتيجةً لذلك استخدام هذه السلسلة في أماكن لا نستطيع استخدام الفراغات فيها في الحالات الاعتيادية، أي ضمن المعرّفات مثلًا أو الكلمات المفتاحية أو السلاسل النصية أو غيرها، وتسبق مرحلة معالجة هذه المحارف مرحلة معالجة ثلاثيات المحارف Trigraphs فقط.

```
/*
 * Example of the use of line joining
 */
#define IMPORTANT_BUT_LONG_PREPROCESSOR_TEXT \
printf("this is effectively all ");\
printf("on a single line ");\
printf("because of line-joining\n");
```

ينبغي أن تُستخدم هذه الطريقة في تقسيم الأسطر (بعيدًا عن أسطر تحكم المعالج المُسبق) في حالة واحدة فقط، ألا وهي لمنع السلاسل النصية الطويلة من أن تختفي إلى اليمين عند النظر لسطور البرنامج. بما أن السطور الجديدة **غير** مسموحة داخل السلاسل النصية والمحارف الثابتة، قد تعتقد أن هذه الفكرة جيّدة:

```
/* not a good way of folding a string */
printf("This is a very very very\
long string\n");
```

سيعمل المثال السابق بالتأكيد، ولكن من المحبّذ استخدام ميزة ضمّ السلاسل النصية string-joining التي قُدّمَت ضمن المعيار عند التعامل مع السلاسل النصية:

```
/* This string joining will not work in Old C */
printf("This is a very very very"
       "long string\n");
```

يسمح لك المثال الثاني بإضافة الفراغات دون تغيير مضمون السلسلة النصية، إذ إنّ المثال الأول يضيف الفراغات إلى مضمون السلسلة النصية.

لكن هل انتبهت أن المثالين يحتويان على خطأ؟ لا يوجد هناك أي مسافة فارغة تسبق الكلمة "long"، مما يعني أن خرج البرنامج سيكون "verylong" دون مسافة بين الكلمتين.

## 2.3.2 التعليق

تكلمنا عن التعليق سابقًا وقلنا أن التعليق يبدأ بالمحرفَين "/*" وينتهي بالمحرفين "*/"، ويُترجم التعليق إلى مسافة فارغة واحدة أينما وجد وهو يتبّع القوانين ذاتها الخاصة بالمسافة الفارغة. من المهم هنا معرفة أن هذا التعليق لا يختفي -كما كان الحال في لغة سي القديمة- ومن غير الممكن وضع التعليق بداخل سلسلة نصية أو محرف ثابت وإلا أصبح جزءًا منهما:

```
/*"This is comment"*/
"/*The quotes mean that this is a string*/"
```

لم تكن لغة C القديمة واضحةً بشأن تفاصيل حذف التعليق، إذ كان من الممكن أن يكون الناتج هنا:

```
int/**/egral();
```

هو حذف التعليق، أي أن المصرف سينظر للتعليمة السابقة بكونها استدعاءً لدالة اسمها `integral`، لكنه سيُبدِّل التعليق بالاعتماد على معيار سي بمسافة فارغة وستكون التعليمة السابقة مساويةً للتعليمة التالية:

```
int egral();
```

التي تصرح عن دالة باسم `egral` تُعيد قيمةً من نوع `int`.

### 2.3.3 مراحل الترجمة

تُجرى ترجمة المحارف المختلفة وضمّ الأسطر والتعرف على التعليقات ومراحل أخرى من الترجمة المبكّرة وفق ترتيبٍ معيّن، إذ يقول المعيار أن هذه المراحل تحدث بالترتيب التالي:

1. ترجمة المحارف الثلاثية.
2. ضمّ الأسطر.
3. ترجمة التعليقات إلى مسافات فارغة (عدا التعليقات الموجودة ضمن السلاسل النصية والمحارف الثابتة)، إذ من الممكن في هذه المرحلة جمع عدّة مسافات فارغة إلى مسافة فارغة وحيدة.
4. ترجمة البرنامج.

تُنهى كل مرحلة قبل أن تبدأ المرحلة التي تليها.

> هناك مزيدٌ من المراحل ولكننا ذكرنا أكثر المراحل أهمية.

## 2.4 الكلمات المفتاحية والمعرفات

بعد أن تكلمنا عن أبجدية لغة سي، سنلقي نظرةً على مزيدٍ من عناصر اللغة المثيرة للاهتمام، إذ تُعد **الكلمات المفتاحية keywords** و**المعرفات identifiers** المكونات الأكثر وضوحًا، وعلى الرغم من تشابه تركيبها إلا أنها مختلفة.

### 2.4.1 الكلمات المفتاحية Keywords

تحجز لغة سي مجموعةً صغيرةً من **الكلمات المفتاحية** لاستخدامها الخاص، ولا يمكن استعمال هذه الكلمات المفتاحية على أنها معرّفات داخل البرنامج، وهذا أمرٌ شائعٌ في معظم لغات البرمجة الحديثة. قد يتفاجئ بعض مستخدمو لغة سي القديمة بوجود بعض الكلمات المفتاحية الجديدة، وإن كانت هذه الكلمات المفتاحية مُستخدمةٌ مثل معرّفات في برامج سابقة فيجب عليك تغييرها، ولحسن الحظ الانتباه لهذا النوع من

الأخطاء والعثور عليها سهل وبسيط، إذ سيخبرك المصرّف أن هناك بعض الأسماء غير الصالحة. يضمّ الجدول التالي الكلمات المفتاحية المُستخدمة في معيار سي، إذ ستلاحظ أن جميع الكلمات لا تبدأ بأحرف كبيرة.

الجدول 3: كلمات مفتاحية

| | | | |
|---|---|---|---|
| auto | double | int | struct |
| break | else | long | switch |
| case | enum | register | typedef |
| char | extern | return | union |
| const | float | short | unsigned |
| continue | for | signed | void |
| default | goto | sizeof | volatile |
| do | if | static | while |

الكلمات المفتاحية المُضافة جديدًا التي قد تفاجئ المبرمجين السابقين للغة سي هي: `const` و`signed` و`void` و`volatile` (على الرغم من وجود `void` منذ فترة). سيلاحظ بعض القراء شديدي الانتباه أن الكلمات المفتاحية `entry` و `asm` و `fortran` غير موجودة في الجدول، إذ أنها ليست من ضمن المعيار، وسيفتقدها القليل منهم فقط.

### 2.4.2 المعرفات Identifier

يُعد **المعرف Identifier** مرادفًا لما نطلق عليه "اسم name"، وتُستخدم المعرفات في لغة سي للدلالة على العديد من الأشياء، فقد لاحظنا استخدامها حتى الآن في تسمية المتغيرات والدوال، ولكنها تُستخدم أيضًا في تسمية مزيدٍ من الأشياء التي لم نراها بعد، مثل:

- **العناوين labels**
- **"وسوم" الهياكل tags of structures**
- **الاتحادات unions**
- **المعدّدات enums**

قواعد إنشاء معرف بسيطةً جدًا، إذ يمكنك استخدام الأحرف البالغ عددها 52 حرفًا من الأبجدية الإنجليزية (أحرف كبيرة أو صغيرة)، والأرقام العشرة من 0 حتى 9 وأخيرًا الشرطة السفلية "_"، التي يمكن عدّها حرفًا من الأبجدية في حالتنا هذه، لكن هناك قيدٌ واحدٌ ألا وهو أن المعرّف **يجب** أن يبدأ بحرف أبجدي.

على الرغم من أن المعيار لا ينص صراحةً على حد أقصى لطول اسم المعرّف، إلا أننا نحتاج أن نتكلم عن هذه النقطة، إذ **لا يوجد** هناك أي حد في لغة سي القديمة ومعيار سي لطول اسم المعرف، ولكن المشكلة هي أنــه لا يوجد هناك أي ضمانات أن جميع محارف اسم المعرف تُفحص أثناء موازنة المساواة، فقد كان حــد الموازنــة في لغة سي القديمة 8 محارف، أما في المعيار فهو 31 محرف.

وبذلك يكون عمليًّا الحد الجديد للمعرف في المعيار هو 31 محرف، ومع ذلـك **يمكن** للمعرفـات تجـاوز هـذا الطول ولكنها يجب أن تختلف في أول 31 محرفًا إذا كنت تريد التأكُّد من أن برامجك محمولة portable. يسمح المعيار بالأسماء الطويلة لبعض التطبيقات، لذا إذا استخدمت الأسماء الطويلة وكان لا بدّ منهـا، فتأكـد من أنهـا فريدةً قبل أن يتوقف التحقُّق من اسمها في المحرف ذو الرقم 31.

يُعد طول **المعرفات الخارجية external identifiers** واحدًا من أكثر الأشياء المثيرة للجدل في الإصـدار الجديد؛ إذ تُعرف المعرفات الخارجية بأنها المعرفات التي يجب أن تكون مرئية خـارج نطـاق الشـيفرة المصـدرية المسـتخدمة فيهـا، وتُعـد بـرامج المكتبـة أو الـدوال الـتي يجب أن تُسـتدعى من عـدّة ملفـات مصـدرية مثـالًا جيدًا عليها.

اختار المعيار الحفاظ على القيود القديمة التي تخص هذه المعرفات، إذ لا تعدّ المعرفات الخارجيــة مختلفــةً عن بعضها إلا في حالة اختلافها مع بعضها في المحارف الستّ الأولى، وليزداد الأمر سـوءًا فقـد تُعامـل الأحـرف الكبيرة والصغيرة بنفس الطريقة؛ والسبب وراء هذا عملي، إذ أن معظم أنظمة تصريف لغة سي تعمل بمسـاعدة أدوات نظام معينة للربط بين دوال المكتبات والبرنامج المكتـوب بلغـة سـي C، وهـذه الأدوات هي خـارج تحكم مصرّف لغة C، ولذا على المعيار أن يضع بعض الحدود العملية التي ستتوافق مع شروط هذه الأدوات.

لا يوجد أي قيود إجبارية على عدد الأحرف، ولكن الالتزام بهذا القيـد (الأحـرف السـت الأولى متكافئـة الحالـة بين الأحرف الكبيرة والصغيرة) يزيد من فرصة عمل البرنامج على مختلف الأجهزة دون مشاكل (برنامج محمول).

يذكرنا المعيار دائمًا بأنه ينظر إلى استخدام تكافؤ الحالة بين الأحرف الصغيرة والكبيرة إضـافةً لحـدّ المحـارف في تسمية المعرفات على كونها ميزاتٍ قديمة، ومن الممكن أن يلغي المعيار القادم استخدام هذه القيود. لنأمل أن يحصل ذلك قريبًا.

## 2.5 التصريح عن المتغيرات

ذكرنا في الفصول السابقة أنه يجب التصريح عن أسماء الأشياء قبل استخدامها، والاستثناء الوحيد هنا لهذه القاعدة هو أسماء الدوال التي تُعيد قيمةً من النوع int، لأنه مصرّحٌ عنهـا افتراضـيًا بالإضـافة لأسـماء **العناوين labels**. بإمكانك إما **التصريح declaration** عن الأشياء، وهي العملية التي تصف اسم ونوع الشيء ولكنها لا تحجز أيّ مكان على الذاكرة، أو **التعريف definition**، الذي يحجز مكانًا في الذاكرة للشيء المُصرَّح عنه.

الفرق بين التصريح والتعريف مهم، وللأسف فإنّ الكلمتين متشابهتان مما يسبب الخلط لدى الكثـير، ومن هذه النقطة فصاعدًا سنستخدم هاتين الكلمتين في سياقهما الصحيح، لذلك إذا نسيت الفرق بين المصـطلحين وأردت التأكد مرةً أخرى فارجع لهذه الفقرة.

القواعد المتعلقة بجعل التصريح ضمن التعريـف معقّـدةٌ بعض الشـيء، لـذا سـنؤجلها ونكتفي حاليًّا ببعض الأمثلة والقواعد التي ستؤدي الغرض لأمثلتنا القادمة.

```
/*
* A function is only defined if its body is given
* so this is a declaration but not a definition
*/

int func_dec(void);

/*
* Because this function has a body, it is also
* a definition.
* Any variables declared inside will be definitions,
* unless the keyword 'extern' is used.
* Don't use 'extern' until you understand it!
*/

int def_func(void){
     float f_var;            /* a definition */
     int counter;            /* another definition */
     int rand_num(void);     /* declare (but not define) another
function */

     return(0);
}
```

سنستمرّ قدُمًا في القسم التالي ونتكلم عن **نوع** المتغيرات والتعابير.

### 2.5.1 تمارين

1. ما هو استخدام ثلاثيات المحارف؟
2. متى تتوقع أن تستخدمها ومتى تستبعد استخدامها؟
3. متى لا يتساوى السطر الجديد مع المسافة أو مسافة الجدولة؟
4. متى تتوقع استخدام سلسلة "السطر الجديد باستخدام الشرطة المائلة الخلفية" النصية؟
5. ما الذي يحصل عندما توضع سلسلتان نصيتان بجوار بعضهما؟
6. لماذا لا يمكنك وضع تعليق بداخل تعليق آخر؟ (هذا القيد يمنع "تعليق" بعض أجزاء الشيفرة البرمجية إن لم تكن حذرًا).
7. ما هو أطول اسم يمكنك تسميته بصورةٍ آمنة للمتغيرات؟
8. ما معنى التصريح؟
9. ما معنى التعريف؟

## 2.6 الأنواع الحقيقية Real Types

سيكون من الأسهل التعامل مع الأنواع الحقيقية real أوّلًا، لأن هناك تفاصيل وتعقيدات أقل بخصوصها موازنةً بنوع الأعداد الطبيعية Integers. يقدّم المعيار تفاصيلًا جديدةً بخصوص دقة ونطاق الأعداد الحقيقية، ويمكن أن تجدهم في ملف الترويسة "float.h" الذي سنناقشه بالتفصيل لاحقًا. هذه التفاصيل مهمة جدًا ولكنها ذات طبيعة تقنية للغاية، ولن تُفهم بالكامل غالبًا إلا من قبل مختصّي التحليل العددي.

أنواع الأعداد الحقيقية هي:

- `float`: العدد العشري
- `double`: العدد العشري مضاعف الدقة
- `long double`: العدد العشري الأدق

يسمح لنا كل واحد من هذه الأنواع بتمثيل الأعداد الحقيقية بطريقة معينة باستخدام الحاسوب؛ فإذا كان هناك نوعٌ واحدٌ لتمثيل الأعداد الحقيقية، فهذا يعني أن تمثيل الأعداد سيكون متماثلًا بغض النظر عن الاستخدام؛ أما إذا كان العدد يتجاوز الثلاثة أنوع، فهذا يعني أن لغة سي لن تستطيع تصنيف أي من الأنواع الإضافية. يُستخدم النوع `float` للتمثيل السريع والبسيط للأرقام الصغيرة وهو مشابهٌ للنوع `REAL` في لغة فورتران؛ أما `double` فيستخدم للدقة الإضافية، و `long double` لدقة أكبر من سابقتها.

التركيز الأساسي هنا هو أنّ الزيادة في "دقة" كلٍ من `float` و `double` و `long double` تعطي لكل نوعٍ نطاقًا ودقّة مساويةً للنوع الذي يسبقها على الأقل، فأخذ القيمة من متغير نوع `double` مثلًا، وتخزينها في متغير من نوع `long double`، يجب أن يمثِّل القيمة ذاتها.

لا توجد هناك أي متطلبات للأنواع الثلاثة من متغيرات الأعداد "الحقيقية" لتختلف في خصائصها، وبالتالي إن لم توفّر الآلة سوى نوع واحدٍ من أنواع متغيرات الأعداد الحقيقية، فيمكن عندئذٍ تمثيل جميع أنواع الأعداد الحقيقية الثلاثة في لغة سي بهذا النوع المتوفِّر. لكن بغض النظر، يجب أن يُنظر إلى هذه الأنواع الثلاثة بأنها مختلفة، وكأنّ هناك فرقٌ بينها حقًا، وهذا يساعد في نقل البرنامج إلى نظام تختلف فيه هذه الأنواع حقًّا، بحيث لن يظهر لك مجموعةٌ من التحذيرات من المصرّف بخصوص عدم توافق الأنواع التي لم تكُن موجودةً على النظام الأول.

تسمح لغة سي بمزج جميع أنواع البيانات العددية في التعابير بعكس كثيرٍ من لغات البرمجة الصارمة بخصوص قواعد كتابتها، وذلك يضم مختلف أنواع الأعداد الصحيحة إضافةً إلى الأعداد الحقيقية وأنواع المؤشرات؛ وعندما يتضمن التعبير مزيجًا من أنواع الأعداد الحقيقية والصحيحة، سيُستدعى تحويلٌ ضمني يعمل بدوره على معرفة نوع المزيج الكلّي الناتج. هذه القواعد مهمةٌ جدًا وتدعى **التحويلات الحسابية الاعتيادية usual arithmetic conversions**، ومن المفيد أن تتذكرها، إذ سنشرح كامل هذه القواعد لاحقًا، إلا أننا سننظر في الوقت الحالي إلى الحالات التي تتضمن مزيجًا من `float` و `double` و `long double` ونحاول فهمها.

الحالة الوحيدة التي نحتاج فيها إجراء التحويلات المذكورة هي عندما يُمزج نوعان من البيانات في تعبير، كما في هو موضح في المثال التالي:

```
int f(void){
        float f_var;
        double d_var;
        long double l_d_var;

        f_var = 1; d_var = 1; l_d_var = 1;
        d_var = d_var + f_var;
        l_d_var = d_var + f_var;
        return(l_d_var);
}
```

[مثال 1.2]

نلاحظ في المثال السابق وجود كثيرٍ من التحويلات القسرية، لنبدأ بأسهلها أوّلًا، ولننظر إلى تعيين القيمة الثابتة 1 لكلٍ من المتغيرات الثلاثة. لا بُد من التنويه (كما سيشير القسم الذي يتكلم عن القيم الثابتة

constants لاحقًا) إلى أن القيمة 1 هي من نوع int، أي تمثّل عددًا صحيحًا وليس قيمةً ثابتةً حقيقية، ويحوّل الإسناد قيمة العدد الصحيح إلى نوع العدد الحقيقي المناسب والأسهل للتعامل معه.

التحويلات المثيرة للاهتمام تأتي بعدها، وأولها ضمن السطر التالي:

```
d_var = d_var + f_var;
```

ما هو نوع التعبير الذي يتضمن العامل +؟ الإجابة عن هذا السؤال سهلة ما دمت ملمًّا ببعض القواعد؛ إذ يُحوَّل النوع الأقل دقةً ضمنيًا إلى النوع الأكثر دقةً وتُنجز العملية الحسابية باستخدام هذه الدقة، وذلك عندما يجتمع نوعان من الأعداد الحقيقية في التعبير ذاته. يتضمن المثال السابق استخدام كلٍّ من double و float، لذلك تُحوّل قيمة المتغير f_var إلى النوع double وتُضاف فيما بعد إلى قيمة النوع double أي المتغير d_var، وتكون نتيجة هذا التعبير هي من نوع double أيضًا، لذا من الواضح أن عملية الإسناد إلى المتغير d_var صائبة.

عملية الجمع الثانية أكثر تعقيدًا، ولكنها ما زالت سهلة الفهم، إذ تُحوّل قيمة المتغير f_var وتُجرى العملية الحسابية باستخدام دقة النوع double، ألا وهي عملية جمع المتغيرين، لكن هناك مشكلة، وهي أن نتيجة عملية الجمع من نوع double، لكن عملية الإسناد من نوع long double، ويكون مجدّدًا الحل البديهي في هذه الحالة هو تحويل القيمة الأقل دقة إلى الأكبر دقّة، وهو ما يُجرى ضمنيًّا قبل عملية الإسناد.

الآن بعد أن أخذنا نظرةً سريعةً على الأمثلة السهلة، حان وقت الأمثلة الأكثر صعوبة وهي الحالة التي يتسبب فيها التحويل القسري بتحويل نتيجةٍ بدقةٍ عالية إلى دقةٍ أقل منها، ففي مثل هذه الحالات قد يكون من الضروري خسارة الدقة بطريقة محدّدة من تنفيذ التحويل. ببساطة، يجب أن يحدد التنفيذ طريقة تقريب أو اقتطاعٍ للقيمة، وفي أسوأ الحالات قد يكون نوع الهدف غير قادرٍ على تخزين تلك القيمة الضرورية (على سبيل المثال محاولة جمع أكبر قيمة لعدد إلى نفسه)، وتُعد نتيجة التنفيذ في هذه الحالة غير محددة، والبرنامج يشكو من خطأ ولا يمكنك التنبؤ بتصرفه.

لا ضرر من تكرار فكرتنا السابقة، إذ يقصد المعيار بحالة **السلوك غير المحدد undefined behaviour** معنى اسمه حرفيًا، وحالما يدخل البرنامج منطقة السلوك غير المحدد، يمكن لأي شيء أن يحدث؛ فمن الممكن إيقاف البرنامج من طرف نظام التشغيل مصحوبًا برسالة معيّنة؛ أو قد يحدث شيء غير مُلاحظ ويستمر البرنامج للعمل باستخدام قيم خاطئة مُخزَّنة في المتغير. منع البرنامج من إبداء أي سلوك غير محدّد تعد من مسؤولياتك، فتوخّ الحذر.

لتلخيص ما سبق:

- تُجرى العمليات الحسابية التي تتضمن نوعين باستخدام النوع الأعلى دقّة منهما.

- قد يتضمن الإسناد خسارة لدقة القيمة في حال كان نوع المتغير الهـدف ذو دقـة أقـل من دقـة القيمـة التي تُسنَد لهذا المتغير.
- هناك مزيدٌ من التحويلات التي تُجرى عند مزج الأنواع ضمن تعبير واحد، إذ لم نصِف جميعها بعد.

### 2.6.1 طباعة الأعداد الحقيقية

يمكن استخدام دالة الخرج التقليدي `printf` لتنسيق الأعـداد الحقيقيـة وطباعتهـا، كمـا يوجـد العديـد من الطرق لتنسيق هذه الأعداد، ولكننا سنتطرق إلى طريقة واحـدة في الـوقت الحـالي. يوضـح الجـدول 4 التنسـيق الموافق لكل نوعٍ من أنواع الأعداد الحقيقية.

الجدول 4: رموز التنسيق للأعداد الحقيقية

| النوع | التنسيق |
|---|---|
| `float` | `f%` |
| `double` | `f%` |
| `long double` | `Lf%` |

ألقِ نظرةً على المثال التالي لتجربة المعلومة السابقة:

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define BOILING 212     /* degrees Fahrenheit */

main(){
      float f_var; double d_var; long double l_d_var;
      int i;

      i = 0;
      printf("Fahrenheit to Centigrade\n");
      while(i <= BOILING){
              l_d_var = 5*(i-32);
              l_d_var = l_d_var/9;
              d_var = l_d_var;
              f_var = l_d_var;
              printf("%d %f %f %Lf\n", i,
                      f_var, d_var, l_d_var);
              i = i+1;
```

```
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 2.2]

جرّب المثال السابق على حاسوبك الشخصي، ولاحظ النتائج.

### 2.6.2 تمارين

1. أي نوع من المتغيرات يخزّن أكبر نطاق من القيم؟
2. أي نوع من المتغيرات يخزّن أعلى دقة من القيم؟
3. هل هناك أي مشاكل ممكنة الحدوث عند إسناد `float` أو `double` إلى `double` أو `long double`؟
4. ما المشاكل التي قد تحدث عند إسناد `long double` إلى `double`؟
5. ما هي التوقعات التي يمكنك توقعها من برنامج له "سلوك غير محدّد"؟

## 2.7 الأنواع الصحيحة Integral types

كانت الأنواع الحقيقية أسهل الأنواع، إذ تتصف القوانين الخاصة بالأنواع الصحيحة بتعقيد أكبر، ولكنها ما زالت مفهومة وينبغي تعلُّمها. لحسن الحظ، الأنواع الوحيدة المستخدمة في لغة سي لتخزين البيانات هي الأنواع الحقيقية والصحيحة، إضافةً إلى **الهياكل structures** و**المصفوفات arrays** المبنيّة عليهما، إذ لا تحتوي لغة سي على أنواع مميزة للتلاعب بالمحارف، أو التعامل مع القيم البوليانية boolean، وإنما تستخدم الأنواع الصحيحة بدلًا من ذلك، وهذا يعني أنه حالما تفهم الأنواع الصحيحة والحقيقية فأنت تعرف جميع الأنواع.

سنبدأ بالنظر إلى الأنواع المختلفة للأعداد الصحيحة وقوانين التحويل فيما بينها.

### 2.7.1 الأعداد الصحيحة البسيطة

هناك نوعان من متغيرات الأعداد الصحيحة يطلق عليهما "نكهات flavours"، ويمكن بناء أنواع أخرى انطلاقًا من هذين النوعين كما سنرى لاحقًا، لكن تبقى الأنواع البسيطة `int` هي الأساس. النوع الأكثر شهرةً هو العدد الصحيح ذو الإشارة signed أو `int`، أما النوع الأقل شهرة هو العدد الصحيح عديم الإشارة أو `unsigned int`، ومن المفترض أن تُخزّن القيم في المتغيرات ذات النوع المناسب حسب الآلة التي تشغل البرنامج.

عندما تبحث عن نوع بيانات بسيط لتمثيل عدد صحيح، فإن النوع `int` هو الاختيار البديهي لأي استخدام مُتساهل، مثل عدّاد ضمن حلقة تكرارية قصيرة، إذ لا توجد هناك أي قاعدة تحدّد عدد البتّات التي يخزنها نوع

int لقيمةٍ ما، لكنه سيكون **دائمًا** مساويًا إلى 16 بِت أو أكثر، ويفصِّل ملف الترويسة القياسي "<limits.h>" العدد الفعلي للبتات المُتاحة في تنفيذٍ معين.

لم تحتوِ لغة سي القديمة على أية معلومات بخصوص طول متغيّر من نوع int، ولكن الجميع كان يفترض اصطلاحًا أنها على الأقل 16 بِت. في الحقيقة، لا يحدّد ملف الترويسة "<limits.h>" العدد الدقيق للبتات، ولكنه يقدِّم تقديرًا لأعظم عدد وأقل عدد بتات لقيمةٍ في متغيرٍ من نوع int، والقيم التي يحددها هي ما بين 32767 و32767- أي 16 بت فما فوق، سواءٌ كانت عملية المتمم الأحادي أو الثنائي الحسابية مستخدمةُ أم لا، وبالطبع لا يوجد هناك أي قيود من توفير نطاق أكبر في أي الطرفين في حال توفرت الطريقة المناسبة.

يتراوح النطاق المحدد وفق المعيار للمتغير من نوع unsigned int من 0 إلى 65535، مما يعني أن القيمة لا يمكن أن تكون سالبة، وسنتكلم بإسهاب عن هذه النقطة لاحقًا.

إذا لم تعتَد التفكير بعدد البتات لمتغيّر ما، وبدأت بالقلق عمّا إذا سيؤثر ذلك على قابلية نقل البرنامج كون هذه المشكلة مرتبطةً بوضوح بالآلة (أي الحاسوب الذي يشغّل البرنامج)، فقلقك في محلّه. تأخذ لغة سي قابلية نقل البرنامج على محمل الجدّ كما تدلّك على القيم والمجالات الآمنة، وتشجِّعك أيضًا عوامل العوامل الثنائية bitwise operators على التفكير بعدد البتّات في متغيرٍ ما، لأنها تمنحك الوصول المباشر إلى بتات المتغير التي تعالجها بصورةٍ منفردة (كل بت على حدة) أو في مجموعات. ونتيجة لذلك تكوَّن لدى مبرمجي لغة سي المعرفة الكافية بخصوص مشكلات قابلية نقل البرنامج، ممّا يتسبب ببرمجة برامج قابلة للنقل، لكننا **لا ننفي** هنا إمكانية كتابة برامج غير قابلة للنقل إطلاقًا.

## 2.7.2 متغيرات المحارف

المتغير char هو النوع الثاني من أنواع الأعداد الصحيحة البسيطة، فهو نوعٌ آخر من int ولكن بتطبيقٍ مختلف، إذ تُعدّ فكرة تخصيص نوعٍ خاص للتعامل مع المحارف فكرةً جيّدة خاصةً وأن كثيرًا من برامج سي تتعامل بالمحارف، لأن تمثيل القيم باستخدام النوع int يأخذ كثيرًا من المساحة غير الضرورية لتمثيل المحرف.

يصف ملف ترويسة الحدود "limits" ثلاثة أشياء عن النوع char ألا وهي:

- عدد البتات 8 على الأقل.
- يمكنها تخزين قيمة 127+ على الأقل.
- القيمة الدنيا للنوع char هي صفر أو أقل، مما يعني أن المجال يتراوح ما بين 0 إلى 127.

يحدِّد تنفيذ المتحول char فيما إذا كان سيتصرف تصرُّف المتحولات ذات الإشارة signed أو عديمة الإشارة unsigned.

باختصار، تحتل متغيرات المحارف مساحةً أقل من المتغيرات الصحيحة `int` التقليدية، ويمكن استخدامها لمعالجة المحارف، لكنها تندرج تحت تصنيف الأعداد الصحيحة، ويمكن استخدامها لإجراء العمليات الحسابية كما هو موضح في المثال التالي:

```
include <limits.h>
include <stdio.h>
include <stdlib.h>

main(){
	char c;

	c = CHAR_MIN;
	while(c != CHAR_MAX){
		printf("%d\n", c);
		c = c+1;
	}

	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 3.2]

تشغيل البرنامج في المثال السابق تمرينٌ لك، وربما ستثير النتائج إعجابك. إذا كنت تتساءل عن قيمة `CHAR_MIN` و`CHAR_MAX`، فاطّلع على ملف الترويسة `limits.h` واقرأه.

إليك مثالٌ آخر مثيرٌ للإعجاب حقًا، إذ سنستخدم فيه محارف ثابتة constants، والتي يمكن كتابتها بين إشارتين تنصيص أحاديّة على النحو التالي:

```
'x'
```

لأن القواعد الحسابية تُطبَّق هنا، فسيُحوّل المحرف الثابت السابق ليكون من النوع `int`، ولكن هذا لا يهم حقًّا لأن قيمة المحرف صغيرة دائمًا ويمكن تخزينها في متغير من نوع `char` دون فقدان أي دقة (لسوء الحظ هناك بعض الحالات التي لا ينطبق فيها هذا الكلام، تجاهلها في الوقت الحالي). عندما يُطبع محرف باستخدام الرمز `%c` ضمن دالة `printf`، يُطبع المحرف كما هو، لكن يمكنك استخدام الرمز `%d` إذا أردت طباعة قيمة العدد الصحيح الموافقة لهذا المحرف. لماذا استُخدم الرمز `%d`؟ كما ذكرنا سابقًا، النوع `char` هو في الحقيقة نوع من أنواع الأعداد الصحيحة.

من المهم أيضًا وجود طريقة لقراءة المحارف إلى البرنامج، وتتكفل الدالة getchar بهذه المهمة، إذ تقرأ المحارف من **الدخل القياسي standard input** للبرنامج وتُعيد قيمةً صحيحةً int موافقة لتخزين هذا المحرف في متغير من نوع char، تخدم هذه القيمة المُمرّرة من نوع int غرضين، هما: تمثيل جميع قيم المحارف الممكنة بواسطتها، إضافةً إلى تمرير قيمة **إضافية** للدلالة على نهاية الدخل. لا يتسع مجال قيم متغير من نوع char في جميع الحالات لهذه القيمة الإضافية، لذلك يُستخدم النوع int.

يقرأ البرنامج التالي الدخل ويعدّ الفواصل والنقاط المُدخلة، وعند وصولة لنهاية الدخل يطبع النتيجة.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main(){
	int this_char, comma_count, stop_count;

	comma_count = stop_count = 0;
	this_char = getchar();
	while(this_char != EOF){
		if(this_char == '.')
			stop_count = stop_count+1;
		if(this_char == ',')
			comma_count = comma_count+1;
		this_char = getchar();
	}
	printf("%d commas, %d stops\n", comma_count,
			stop_count);
	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 4.2]

هناك ميزتان نستطيع ملاحظتهما من المثال السابق، الأولى هي الإسناد المتعدّد للعدادين، والثانية هي استخدام الثابت المعرّف EOF؛ وهي قيمة تُمرّر من الدالة getchar في نهاية الدخل وتمثّل اختصارًا لكلمة End Of File نهاية الملف، وتكون معرفةً ضمن ملف الترويسة "<stdio.h>"؛ أما الإسناد المتعدد فهي ميزةٌ شائعةٌ الاستخدام في برامج لغة سي.

لنأخذ مثالًا آخر، وليكن برنامجًا لطباعة جميع الأحرف الأبجدية بأحرف صغيرة إذا كان تنفيذك يحتوي على محارف مخزنة بصورةٍ متتالية، أو طباعة نتيجةٍ مثيرةٍ للاهتمام إذا لم يكن كذلك. لا تقدّم لغة سي العديد من الضمانات بترتيب المحارف داخليًّا، لذلك قد يتسبب هذا البرنامج بنتائج مختلفة ويكون **غير محمول**.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main(){
	char c;

	c = 'a';
	while(c <= 'z'){
		printf("value %d char %c\n", c, c);
		c = c+1;
	}

	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 5.2]

يذكرنا هذا المثال مرةً أخرى بأن `char` شكلٌ مختلفٌ من أشكال متغيرات الأعداد الصحيحة ويمكن استخدامه مثل أي عدد صحيح آخر، فهو **ليس** نوع مميّز بقواعد مختلفة.

تصبح المساحة التي يوفرها `char` موازنةً مع `int` ملحوظةً ومهمةً عندما يُستخدام الكثير من المتغيرات. تستخدم معظم عمليات معالجة المحارف مصفوفات كبيرة منها وليس محرفًا واحدًا أو اثنين فقط، وفي هذه الحالة يصبح الفرق واضحًا بين الاثنين. لنتخيل سويًّا مصفوفةً مؤلفةً من 1024 متغيرًا من نوع `int`، تحجز هذه المصفوفة مساحة 4098 بايت (كل بايت 8-بت) من التخزين على معظم الآلات، على افتراض أن طول كل `int` هو 4 بايت؛ فإذا كانت معمارية الحاسوب تسمح بتخزين هذه المعلومات بطريقة فعّالة، قد تطبّق لغة سي هذا عن طريق متغيرات من نوع `char` بحيث يأخذ كل متغير بايتًا واحدًا، وبذلك ستأخذ المصفوفة مساحة 1024 بايت، مما سيوفّر مساحة 3072 بايت.

لا يهمنا في بعض الحالات إن كان سيوفِّر البرنامج مساحةً أم لا، ولكنه يوفِّرها بغض النظر، ومن الجيد أن تعطينا لغة سي فرصة اختيار نوع المتغير المناسب لاستخدامنا.

### 2.7.3 المزيد من الأنواع المعقدة

النوعان السابقان الذين تكلمنا عنهما سابقًا بسيطان، سواءٌ بخصوص تصريحهما أو استخدامهما، ولكن دقتهما في التحكم بالتخزين وسلوكهما غير كافيين في استخدامات نظم البرمجة المعقدة. تقدّم لغة سي أنواعًا إضافية من أنواع الأعداد الصحيحة للتغلُّب على هذه المشكلة وتُقسم إلى تصنيفين، الأنواع ذات الإشارة `signed` والأنواع عديمة الإشارة `unsigned` (بالرغم من هذه المصطلحات كلمات محجوز في لغة سي إلا أن معناها يدلّ على غرضها أيضًا)، والفرق بين النوعين واضح؛ إذ يمكن للأنواع ذات الإشارة أن تكون قيمتها سالبة؛

بينما يكون من المستحيل أن تخزِّن الأنواع عديمة الإشارة قيمةً سالبة، وتُستخدم الأنواع عديمة الإشارة في معظم الأحيان لحالتين، هما: إعطاء القيمة دقةً أكبر، أو عندما نضمن أن المتغير لن يخزن أي قيمٍ سالبة في استخدامه، والحالة الثانية هي الحالة الأكثر شيوعًا.

تملك الأنواع عديمة الإشارة خاصيةً مميزة ألا وهي أنها ليست عرضةً للطفحان الحسابي overflowing عند إجراء العمليات الحسابية، إذ سيتسبب إضافة 1 إلى متغيرٍ من نوعٍ ذي إشارة يخزّن أكبر قيمة يمكن تخزينها بحدوث طفحان، ويصبح سلوك البرنامج نتيجةً لذلك غير محدّد، ولا يحصل هذا الأمر مع المتغيرات من نوعٍ عديم الإشارة، لأنّها تعمل وفق "باقي قسمة واحد زائد القيمة العظمى التي يمكن للمتغير تخزينها على هذه القيمة"، أي باقي قسمة "(max+1)/max"، والمثال التالي يوضح ما نقصده:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main(){
	unsigned int x;
	x = 0;
	while(x >= 0){
		printf("%u\n", x);
		x = x+1;
	}

	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 6.2]

بفرض أن المتغير x يحتل مساحة 16 بِت، فهذا يعني أن مجال قيمته يتروح بين 0 و 65535، وأن الحلقة التكرارية في المثال ستتكرر لأجل غير مسمّى، إذ أن الشرط التالي محققٌ دائمًا:

```
x >= 0
```

وذلك بالنسبة لأي متغير عديم الإشارة.

يوجد ثلاثة أنواع فرعية لكلٍ من الأعداد الصحيحة ذات الإشارة وعديمة الإشارة، هي: short والنوع الاعتيادي و long، ونستطيع بعد أخذ هذه المعلومة بالحسبان كتابة لائحة بجميع أنواع متغيرات الأعداد الصحيحة في لغة سي باستثناء نوع تخزين المحرف char، على النحو التالي:

```
unsigned short int
unsigned int
```

```
unsigned long int
signed short int
signed int
signed long int
```

ليس مهمًّا استخدام الكلمة المفتاحية `signed` ويمكن الاستغناء عنها في الأنواع الثلاث الأخيرة، إذ أن نـوع `int` ذو إشـارة افتراضـيًا، ولكن **ينبغي عليك** اسـتخدام الكلمـة المفتاحيـة `unsigned` إذا أردت الحصـول على نتيجة مغايرة لذلك. من الممكن أيضًا التخلّي عن الكلمة المفتاحية `int` من أي تعليمة تصريح شـرط أن تحتـوي على كلمة مفتاحية أخرى، مثل `long` أو `short`، وسيُفهم المتغير على أنه `int` ضمنيًّا ولكنه أمرٌ غير محبّذ، على سبيل المثال الكلمة المفتاحية `long` مساوية للكلمات `signed long int`.

يمنحك النوع `long` و `short` تحكّمًا أكبر بمقدار المساحة التي تريـد حجزهـا للمتغـير، ولكـلّ منهمـا مجـال أدنى محدّد في ملف الترويسـة `<limits.h>`، وهـو 16 بِت على الأقـل لكـل من `short` و `int`، و32 بتًـا على الأقل للنوع `long`، سواءً كان ذو إشارة signed أو دون إشارة unsigned. وكما ذكرنا آنفًا من الممكن للتنفيذ أن يحجز مقدارًا يزيد على المقدار الأدنى من البتات إذا أراد ذلك، والقيد الوحيد هنـا هـو أن حـدود المجـال يجب أن تكون متساويةً أو محسّنة، وألا تحصل على عددٍ أكبر من البتات في متغيرٍ من نوع أصغر موازنةً بنـوعٍ أكـبر منـه، وهي قاعدة منطقية.

أنواع متغيرات المحارف الوحيدة هي `signed char` و `unsigned char`، ويتمثّل الفرق بين متغيرات من نوع `int` و `char` في أن جميع متغيرات `int` ذات إشارة إن لم يُذكر عكس ذلك، وهذا لا ينطبـق على أنـواع المحارف `char` التي قد تكون ذات إشارة أو عديمة الإشارة اعتمادًا على اختيار المُنفّذ، وعادةً ما يُتخذ القـرار بنـاءً على أسس الكفاءة. يمكنك طبعًا اختيار نوع المتغير قسريًا إذا أردت باستخدام الكلمة المفتاحية الموافقـة، ولكن هذه النقطة لا تهمّك إلا في حالة استخدامك لمتغيرات المحارف بنوعها القصير `short` لتوفير مساحة التخزين.

لتلخيص ما سبق:

- تتضمن أنواع الأعداد الصحيحة `short` و `long` و `signed` و `unsigned` و النوع الاعتيادي `int`.
- النوع الأكثر استخدامًا وشيوعًا هو النوع الاعتيادي `int` وهو ذو إشارة إلا في حالة تحديد عكس ذلك.
- **يمكن** للمتغيرات من نوع `char` أن تكون ذات إشارة أو عديمة الإشارة حسب تفضيلك، ولكن في حـال غياب تخصيصك لها ستُخصّص الحالة الأفضل افتراضيًا.

## 2.7.4 طباعة أنواع الأعداد الصحيحة

يمكننا طباعة هذه الأنواع المختلفـة أيضًـا باسـتخدام الدالـة `printf`، إذ تعمـل متغـيرات المحـارف بنفس الطريقة التي تعمل بها الأعداد الصحيحة الأخرى، ويمكنك استخدام الترميز القياسي لطباعة محتوياتها (أي العدد الـذي يمثـل المحـرف)، على الـرغم من كـون القيم الخاصـة بهـا غـير مثـيرة للاهتمـام أو مفيـدة في معظم

الاستخدامات. نستخدم الرمز `%c` لطباعة محتويات متغيرات المحارف كما أشرنا سابقًا، كما يمكن طباعة جميع قيم الأعداد الصحيحة بالنظام العشري باستخدام الرمز `%d` أو `%ld` لأنواع `long`، ويوضح الجدول 5 المزيد من الرموز المفيدة لطباعة القيم بتنسيقٍ مختلف. لاحظ أنّه في كل حالة تبدأ بالحرف `l` تُطبع قيمةٌ من نوع `long`، وهذا التخصيص ليس موجودًا فقط لعرض القيمة الصحيحة بل لتجنُّب السلوك غير المحدد لدالة `printf` إذا أُدخل الترميز الخاطئ.

الجدول 5: المزيد من رموز التنسيق

| التنسيق | يُستخدم مع |
|---|---|
| `%c` | `char` (طباعة المحرف) |
| `%d` | القيمة العشرية للأنواع `signed int` و `short` و `char` |
| `%u` | القيمة العشرية للأنواع `unsigned int` و `unsigned short` و `unsigned char` |
| `%x` | القيمة الست عشرية للأنواع `int` و `short` و `char` |
| `%o` | القيمة الثمانية للأنواع `int` و `short` و `char` |
| `%ld` | القيمة العشرية للنوع `signed long` |
| `%lu% lx% lo` | كما ذُكر في الأعلى ولكن للنوع `long` |

سنتكلم على نحوٍ مفصّل حول رموز التنسيق المستخدمة مع الدالة `printf` لاحقًا.

## 2.8 التعابير والعمليات الحسابية

من الممكن أن تكون التعابير في لغة سي معقدةً بعض الشيء نظرًا لاستخدام عدد من الأنواع المختلفة والعوامل operators في التعبير الواحد. سيشرح هذا القسم من الكتاب كيفية عمل التعابير هذه، وقد نتطرق للتفاصيل الصغيرة في بعض الأحيان، لذلك سيتوجب عليك قراءتها عدّة مرات حتى تتحقق من فهمك للفكرة.

دعنا نبدأ أولًا ببعض المصطلحات، إذ تُبنى التعابير في لغة سي من مزيجٍ يتكون من **العوامل** و**المُعاملات operands**. لنأخذ على سبيل المثال التعبير التالي:

```
x = a+b*(-c)
```

لدينا العوامل `=` و `+` و `*` و `-`، والمُعاملات التي هي المتغيرات `x` و `a` و `b` و `c`، كما يمكنك ملاحظة القوسين أيضًا اللذين يمكن استخدامهما في تجميع التعبيرات الجزئية مثل `-c`. تنقسم معظم مجموعة عوامل لغة سي الواسعة إلى **عوامل ثنائية binary operators** تأخذ مُعاملين، أو **عوامل أحادية unary operators** تأخذ مُعاملًا واحدًا؛ ففي مثالنا كان `-` مُستخدمًا مثل عاملٍ أحادي، ويؤدي دورًا مختلفًا عن عامل الطرح الثنائي الذي يُمثّل بالرمز ذاته. قد تنظر إلى الفرق بأنه لا يستحق الذكر وأن وظيفة العامل ذاتها أو متشابهة في الحالتين،

ولكنه على النقيض تمامًا فإنه يستحقّ الذكر، لأن لبعض العوامل -كما ستجد لاحقًا- شكل ثنائي وآخر أحادي وكلّ وظيفة مختلفة كاملًا عن الأخرى، ويُعد عامل الضرب الثنائي * الذي يعمل عمـل الموجّـه باسـتخدام المؤشـرات في حالته الأحادية مثالًا جيدًا على ذلك.

تتميز لغة سي بأن العوامل قد تظهر بصورةٍ متتالية دون الحاجة للأقواس للفصل فيما بينهما في تعبـيرٍ مـا، إذ يمكننا كتابة المثال السابق على النحو التالي وسيظلّ تعبيرًا صالحًا.

```
x = a+b*-c;
```

بالنظر إلى عـدد العوامـل في لغـة سـي والطريقـة الغريبـة الـتي تعمـل بهـا عمليـة الإسـناد، تُعـد **أسبقية precedence** العامل و**ارتباطه associativity** مسألةً هامةً جدًا بالنسبة لمـبرمجٍ بلغـة سـي موازنـةً باللغـات الأخرى، وستُناقش هذه النقطة بالتفصيل بعد التكلم عن أهمية عوامل العمليات الحسابية. لكن علينا قبـل ذلـك أن ننظر إلى عملية تحويل النوع التي قد تحصل.

## 2.8.1 التحويلات

تسمح لغة سي بمزج عدّة أنواع ضمن التعبير الواحد، وتسـمح أيضًـا بالعوامـل الـتي يـؤدي اسـتخدامها إلى تحويلات للأنواع ضمنيًا، يصف هذا القسم الطريقة التي تحدث بهـا هـذه التحـويلات. ينبغي على مـبرمجي لغـة سي القديمة (التي سبقت المعيار) قراءة هذا القسم بانتباه، إذ تغيّرت العديد من القواعد وبالأخص التحويل من `float` إلى `double` والتحويل من أنواع الأعداد الصحيحة `short`، كما أن القواعـد الأساسـية في **حفـظ القيم value preserving** قد تغيرت جدًأ في لغة سي المعيارية.

على الرغم من عدم ارتباط هذه المعلومة مباشرةً في هـذا السـياق، تجـدر الإشـارة هنـا إلى أن أنـواع الأعـداد العشرية floating والصحيحة تُعرف باسم **الأنواع الحسابية arithmetic types** وتدعم لغة سـي عـدة أنـواع أخرى، أبرزها أنواع المؤشر pointer. تنطبـق القـوانين الـتي سنناقشـها هنـا على التعـابير الـتي تحتـوي الأنـواع الحسابية فقط، إذ أن هناك بعض القواعد الإضافية عند إضافة أنواع مؤشر مع الأنواع الحسابية إلى هـذا المـزيج وسنناقشها لاحقًا.

إليك أنواع التحويلات المتنوعة في التعابير الحسابية:

- الترقيات العددية الصحيحة integral promotions.
- التحويلات بين الأنواع العددية الصحيحة.
- التحويلات بين الأنواع العددية العشرية.
- التحويلات ما بين الأنواع العددية الصحيحة والعشرية.

سبق وأن ناقشنا التحويلات بين الأنواع العددية الصحيحة في فصل الأنواع الحقيقية والصحيحة فقرة الأعداد الصحيحة، وما سنفعله في الوقت الحالي هو تحديد طريقة عمل التحويلات الأخرى، ومن ثم سننظر **متى** يجب استخدامها، عليك أن تحفظ هذه التحويلات عن ظهر قلب إذا أردت أن تصبح مبرمجًا بارعًا بلغة سي.

من الأشياء المختلف عليها التي قدمها المعيار، هي قواعد **الحفاظ على القيمة value preserving**، إذ تتطلب معرفةً معينةً من الحاسوب الهدف الذي ينفذ البرنامج من أجل معرفة نوع القيمة الناتجة من التعبير. عندما كنا نصادف في السابق نوعًا عديم الإشارة ضمن تعبير ما، كان هذا يعني ضمانًا بأن القيمة الناتجة من نوع `unsigned` أيضًا، ولكن في الوقت الحالي النتيجة ستكون من نوع `unsigned` فقط إذا كان التحويل يتطلب ذلك، وهذا يعني أنه في معظم الحالات ستكون النتيجة من نوع `signed`.

السبب في هذا التغيير هو تقليل القيم التي قد تفاجئك عند مزج قيم من نوع ذو إشارة مع آخر عديم الإشارة، ففي معظم الحالات لا تعرف سبب هذا التغيير، وكان الدافع هنا التحويل إلى نتيجة "أكثر استخدامًا وطلبًا".

## ا. الترقية العددية الصحيحة

أقل العمليات الحسابية دقةً في لغة سي هي باستخدام نوع الأعداد الصحيحة `int`، لذلك تحصل هذه التحويلات ضمنيًّا في كل مرة تُستخدم الكائنات المذكورة في الأسفل ضمن تعبيرٍ ما. التحويل مُعرّف كما يلي:

- عند تطبيق الترقية العددية الصحيحة إلى نوع `short` أو `char` (أو **حقل البِت bitfield** أو **نوع المعدّد enumeration type** الذَين لم نتطرق إليهما بعد):
  - ستُحّول القيمة إلى `int`، إذا كان من الممكن للمتغير تخزين جميع قيم النوع الأصل.
  - عدا ذلك، ستُحوَّل إلى `unsigned int`.

يحفظ هذا التحويل كلًا من القيمة والإشارة الخاصة بالقيمة الأصلية، تذكر أن موضوع معاملة نوع `char` بإشارة أو دون إشارة يعود إلى التنفيذ.

تُطبَّق هذه الترقيات على نحوٍ متكرر بمثابة جزءٍ من **التحويلات الحسابية الاعتيادية** ومُعاملات عوامل الإزاحة الأحادية، مثل `+` و `-` و `~`، كما تُطبّق عندما يكون التعبير مُستخدمًا مثل وسيط لدالة ما دون أي معلومات عن النوع ضمن نموذج الدالة الأولي function prototype، كما سنشرح لاحقًا.

## ب. الأعداد الصحيحة ذات الإشارة وعديمة الإشارة

هناك الكثير من التحويلات الناتجة بين عدد من أنواع الأعداد الصحيحة المختلفة ومزج نكهاتها (أنواعها) المختلفة ضمن تعبير ما، وعند حدوث ذلك، ستحدث الترقية العددية الصحيحة. يمكن للنوع الجديد الناتج في جميع الحالات أن يخزن جميع القيم التي يستطيع النوع القديم تخزينها، وبذلك يمكن الحفاظ على القيم دون تغييرها.

في حال التحويل من عدد صحيح ذو إشارة إلى عدد صحيح عديم الإشارة وكان طول هذا العدد مساويًا لطول (أو أطول من) النوع الأصلي، فلن تتغير القيمة بعد التحويل إذا كان العدد ذو الإشارة موجبًا؛ أما إذا كانت القيمة سالبة فهذا يعني تحويلها إلى صيغة ذات إشارة للنوع الأطول وجعلها عديمة الإشارة عن طريق إضافة قيمتها إلى القيمة العظمى التي يستطيع النوع عديم الإشارة تخزينها زائد واحد. تُحافظ هذه العملية على نمط البِتّات الأصلي للأرقام الموجبة وتضمن "خانة الإشارة الموسّعة" للأرقام السالبة وذلك في نظام المتمّم الثنائي.

لا يوجد هناك أي حالات "طفحان overflow" في جميع حالات تحويل عدد صحيح إلى نوع عديم إشارة قصير، فالنتيجة معرّفةٌ وفق "الباقي غير السالب مقسومًا على القيمة العظمى للرقم عديم الإشارة الذي يمكن تمثيله باستخدام النوع القصير زائد واحد". يعني هذا ببساطة أنه في بيئة تعمل بنظام المتمم الثنائي، تُنسخ البِتات منخفضة الترتيب low-order إلى الهدف ويكون التخلُّص من البتات مرتفعة الترتيب high-order.

قد تحصل بعض المشاكل عند تحويل العدد الصحيح إلى نوع ذي إشارة قصير إن لم يكن هناك مساحةٌ كافيةٌ لتخزين القيمة، وفي هذه الحالة تكون النتيجة حسب التنفيذ implementation defined، كما قد يتوقع معظم من اعتاد على سي القديمة أن يُنسخ نمط البِتات منخفضة الترتيب.

من الممكن أن يكون البند الأخير مثيرًا للقلق بعض الشيء إذا كنت تتذكر الترقية العددية الصحيحة، لأنك قد تنظر إلى الأمر على النحو التالي: إذا أسندت متغيرًا من نوع `char` إلى متحولٍ من نوع `char`، فسيُرقّى المتغير على اليمين إلى نوع من أنوع `int`. إذًا، هل من الممكن أن يؤدي الإسناد إلى تحويل `int` إلى `char` (مثلًا) وتفعيل البند "التعريف حسب التنفيذ"؟ الإجابة هي لا، لأن عملية الإسناد لا تضمّ ترقية الأعداد الصحيحة، لذا لا تقلق.

## ج. الأعداد العشرية والصحيحة

يتخلّص تحويل نوع عدد عشري floating إلى نوع عدد صحيح بسيط من جميع الأجزاء العشرية للقيمة، فإذا كان نوع العدد الصحيح غير قابل لتخزين القيمة المتبقية، فسيصبح لدينا سلوك غير محدد، أي حالة شبيهة بالطفحان overflow.

كما ذكرنا سابقًا، لا توجد هناك أي مشكلة إذا حدث التحويل بصورةٍ تصاعدية من `float` إلى `double` إلى `long double`، إذ من الممكن لجميع الأنواع السابقة تخزين جميع القيم التي تتسع في الأنواع الأصغر منها، وبذلك تحصل عملية التحويل دون أي فقدان للمعلومات؛ بينما سينتج في التحويل في الاتجاه المعاكس سلوكٌ غير محدد في حال كانت القيمة خارج مجال القيم التي يمكن للنوع تخزينها، وفي حال كانت القيمة **ضمن** المجال ولكن لا يمكن تخزينها بدقتها بالضبط النتيجة، ستكون واحدةً من القيمتين المجاورتين **الممكن** تخزينها، ويجري اختيارها حسب التنفيذ، وهذا يعني أن القيمة ستفقد جزءًا من دقتها.

### د. التحويلات الحسابية الاعتيادية

هناك العديد من التعابير التي تتضمن استخدام تعابير فرعية subexpressions تحتوي على خليطٍ من الأنواع مع عوامل، مثل "+" و "*" وما شابه. إذا كانت للمُعاملات ضمن التعبير عدّة أنواع، فهذا يعني أن هناك بعض التحويلات الواجب إجراؤها حتى تكون النتيجة النهائية من نوع معين، والتحويلات هي:

- إذا كان أي من المُعاملَين من نوع `long double` يُحوَّل المُعامل الآخر إلى `long double` ويكون هذا هو نوع النتيجة.
- ماعدا ذلك، إذا كان أيٌ من المُعاملَين من نوع `double`، يُحوَّل المُعامل الآخر إلى `double` ويكون هذا هو نوع النتيجة.
- ماعدا ذلك، إن كان أي من المُعاملَين من نوع `float`، يُحوَّل المُعامل الآخر إلى `float` ويكون هذا هو نوع النتيجة.
- ماعدا ذلك، تُطبّق الترقية العددية الصحيحة لكلا المُعاملين حسب التحويلات التالية:
  - إذا كان أيٌ من المُعاملَين من نوع `unsigned long int`، يُحوَّل المُعامل الآخر إلى `unsigned long int` ويكون هذا نوع النتيجة.
  - ماعدا ذلك، إذا كان أيٌ من المُعاملَين من نوع `long int`، يُحوَّل المُعامل الآخر إلى `long int` ويكون هذا هو نوع النتيجة.
  - ماعدا ذلك، إذا كان أيٌ من المُعاملَين من نوع `unsigned int`، يُحوَّل المُعامل الآخر إلى `unsigned int` ويكون هذا نوع النتيجة.
  - ماعدا ذلك، يجب أن يكون كلا المُعاملين من نوع `int` وعلى هذا نوع النتيجة أيضًا.

يتضمن المعيار جملةً غريبة: "يمكن تمثيل قيم المُعاملات من نوع الأعداد العشرية ونتائج تعابيرها بدقة ومجال أكبر من المطلوبة بالنسبة لنوعها، بالتالي لا يحدث تغيير للأنواع". السبب في هذا هو الحفاظ على معاملة لغة سي القديمة للمتغيرات من أنواع الأعداد العشرية، إذ كانت تُرقّى المتغيرات من نوع `float` في سي القديمة تلقائيًّا إلى `double` بالطريقة ذاتها التي تُرقّى متغيرات من نوع `char` إلى `int`، لذلك يمكن إنجاز التعبير الذي يحوي متغيرات من نوع `float` فقط كما لو كانت المتغيرات من نوع `double`، ولكن نوع النتيجة سيكون دائمًا `float`.

التأثير الوحيد لهذه العملية هو على حساب الأداء، وهو غير مهم لمعظم المستخدمين؛ ويُحدَّد ما إذا كانت التحويلات ستُطبّق أم لا، وأي نوع منها سيطبّق، عند الوصول إلى العامل operator.

لا تسبّب التحويلات بين الأنواع ومزجها أي مشكلات عمومًا، ولكن هناك بعض النقاط التي يجب الانتباه إليها؛ إذ يُعد المزج بين الأنواع ذات الإشارة وعديمة الإشارة بسيطًا إلى أن يحتوي النوع ذو الإشارة قيمة سالبة،

إذ لا يمكن تمثيل قيمته باستخدام متغير عديم الإشارة، وعلينا إيجاد حل لهذه المشكلة. ينص المعيار على أن نتيجة تحويل عدد سالب إلى نوع عديم الإشارة هي أكبر قيمة يمكن تخزينها في النوع عديم الإشارة زائد واحد مضافةً إلى العدد السالب، ولأن الطفحان غير ممكن الحدوث في الأنواع عديمة الإشارة فالنتيجة دائمًا معرّفة على المجال. ولنأخذ `int` بطول 16 بِت مثالًا، إذ أن مجال النوع عديم الإشارة هو 0 إلى 65535، وبتحويل قيمة سالبة (ولتكن "7-") للنوع هذا يجب إضافة 7- إلى 65536 الذي يعطينا الناتج 65529.

يحتفظ المعيار بالطريقة القديمة في لغة سي، إذ يُسند نمط البتات في الرقم ذي الإشارة إلى الرقم عديم الإشارة، والطريقة التي يصفها المعيار هي الطريقة ذاتها التي تنتج عن إسناد نمط بِتّات على حاسوب يعمل بنظام المتمم الثنائي، وعلى أنظمة المتمم الأحادي أن تبذل مزيدًا من المجهود لتصل للنتيجة المرجوّة.

لتوضيح الأمر أكثر، سينتج عن رقمٍ صغيرٍ سالب رقمٌ كبيرٌ موجب عند تحويله إلى نوع عديم الإشارة، وإذا لم تُعجبك هذه الطريقة فحاول التفكير بطريقةٍ أفضل من هذه. يُعد إسناد رقم سالب إلى متغير عديم الإشارة خطأً فادحًا، وستكون عواقب هذا الخطأ على عاتقك.

من السهل القول "لا تفعل هذا"، ولكن الأمر قد يحدث عن طريق الخطأ وفي هذه الحالة ستكون النتائج مفاجئة **جدًا**. ألقِ نظرةً على المثال التالي:

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main(){
	int i;
	unsigned int stop_val;

	stop_val = 0;
	i = -10;

	while(i <= stop_val){
		printf("%d\n", i);
		i = i + 1;
	}
	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 7.2]

ربما تتوقع أن يطبع البرنامج لائحة قيم من "10-" إلى "0"، لكن هذا خاطئ، إذ تكمن المشكلة هنا في الموازنة؛ أي يُوازَن المتغير `i` الذي يخزن القيمة `-10` مع متغير عديم الإشارة يخزن القيمة `0`، ووفقًا لقواعد

الحساب (استذكرها إن أردت) يجب أن نحـوّل كلا النـوعين إلى `unsigned int` أوّلًا ومن ثم نجـري الموازنـة، وتصبح القيمة `-10` مساوية `65526` على الأقل (تفقد ملف الترويسة `<limits.h>`) بعد تحويلها، وتُوازن فيمـا بعد مع `0` وهي أكبر من القيمة كما هو واضح، وبذلك لا تُنفّذ الحلقة التكراريـة إطلاقًـا. العـبرة هنـا هـو أنـه عليـك تجنُّب استخدام الأعداد عديمة الإشارة إلا في حالـة اسـتخدامك المقصـود لهـا، وعنـدما تسـتخدمها انتبـه جيّـدًا بخصوص مزجها مع الأعداد ذات الإشارة.

## ه. المحارف العريضة

كما ذكرنا سابقًا، يسمح المعيار بمجموعات المحارف الموسّعة، إذ يمكنك استخدام ترمـيز الإدخـال بالإزاحـة shift-in والإخراج بالإزاحة shift-out، التي تسمح بتخزين المحارف متعددة البايتات في سلاسل نصية اعتيادية في لغة سي، والتي في حقيقة الأمر مصفوفات من نوع `char` كما سنتعرف لاحقًا؛ أو يمكنك استخدام التمثيـل الذي يستخدم أكثر من بايت واحد لتخزين كل محرف من المحارف. يمكننـا اسـتخدام سلاسـل الإزاحـة فقـط في حالة معالجة المحـارف بـترتيب محـدد، إذ إن الطريقـة عديمـة الفائـدة في حـال أردت إنشـاء مصـفوفة محـارف والوصول إليهم بغض النظر عن تـرتيبهم. إليـك مثـالًا اسـتخدمناه سـابقًا مضـافًا إليـه أدلـة indexes مصـفوفة منطقية وفعلية:

```
1 2  3   4 5 6  7   8 9 (actual array index)
a b c <SI> a b g <SO> x y
1 2      3 4 5      6 7 (logical index)
```

حتى لـو اسـتطعنا الوصـول إلى المُدخلـة "الصـالحة correct" ذات الـدليل "5" في المصـفوفة، فلن تنتـهِ المشكلة، إذ لا يمكن تمييز النتيجة الـتي حصـلنا عليهـا إن كـانت مرمّـزة أو هي "g" حرفيًّا. الحـل الواضـح لهـذه المشكلة هو استخدام قيم مميّزة لجميع المحارف في مجموعة المحارف التي نستخدمها، لكن هذا الأمـر يتطلب مزيدًا من البتات الموجودة في `char` اعتيادي، وأن نكون قادرين على تخزين كـل قيمـة على نحـوٍ منفصـل دون استخدام تقنية الإزاحة أو أي تقنية تعتمد على موضع القيم، وهذا هو الغرض من اسـتخدام النـوع `wchar_t`؛ إذ يُعـدّ هـذا النـوع مرادفًـا لأنـواع الأعـداد الصـحيحة الأخـرى (يمكنـك الاطلاع على تعريفـه في ملـف الترويسة "`<stddef.h>`")، وهو نوعٌ معرّفٌ حسب التنفيذ ويُستخدم في تخزين المحـارف الموسـعة عنـدما تريـد إنشـاء مصفوفة منها. يضمن المعيار التفاصيل التالية المتعلقة بقيمة المحارف العريضة:

- يستطيع المتغير من نوع `wchar_t` تخزين قيم فريدة لكل محـرف من أكـبر مجموعـة محـارف يـدعمها التنفيذ.
- المحرف الفارغ null قيمته الصفر.
- تماثـل قيمـة ترمـيز كـل محـرف من مجموعـة المحـارف الأساسـية (ألـقِ نظـرةً على فصـل المحـارف المُستخدمة في لغة C فقرة الأبجدية الاعتيادية) في النوع `wchar_t` القيمة المُخزنة في `char`.

هناك دعم أكبر لطريقة ترميز المحارف هذه، مثل السلاسل النصية strings التي تكلمنا عنها سابقًا، إذ تُنفَّذ على أنها مصفوفة من المحارف char، مع أن قيمتها تبدو على النحو التالي:

```
"a string"
```

للحصول على سلاسل نصية من نوع wchar_t، اكتب السلسلة النصية كما هي مسبوقة بالحرف L، على سبيل المثال:

```
L"a string"
```

علينا أن نفهم الفرق بين المثالين السابقين، إذ أن السلاسل النصية هي في حقيقة الأمر مصفوفات وعلى الرغم من غرابة الأمر إلا أنّنا نستطيع استخدام دليل المصفوفة عليها:

```
"a string"[4]
L"a string"[4]
```

كلا التعبيرين السابقين صالح، إذ أن التعبير الأول من نوع char وقيمته ممثلةٌ بالحرف r (تذكر أن دليل المصفوفات يبدأ من صفر وليس واحد)، والتعبير الثاني من نوع wchar_t وقيمته ممثلةٌ أيضًا بالحرف r.

يصبح الأمر مثيرًا للاهتمام عند استخدامنا للمحارف الموسعة، إذ تظهر لنا بعض المشكلات إذا استخدمنا الترميز <a> و <b> للدلالة على محارف "إضافية" عن مجموعة المحارف الاعتيادية، أي ترميز هذه المحارف باستخدام تقنية إزاحة ما، لاحظ المثالين:

```
"abc<a><b>"[3]
L"abc<a><b>"[3]
```

الحالة الثانية سهلة الفهم، فهي مصفوفةٌ من نوع wchar_t والترميز الموافق لها يبدأ بالمحرف <a> أيًّا كان هذا الترميز (لنفترض أنه ترميز إلى الحرف اليوناني الموافق)؛ أما الحالة الأولى فهي غير ممكنة التنبؤ، إذ أن النوع هو char بلا شك لكن قيمته هي وسم الإدخال بالإزاحة غالبًا.

كما هو الحال مع السلاسل النصية، هناك ثوابت محارف عريضة، مثل 'a' التي لها نوع char وقيمة الترميز متجاوبة مع قيمة المحرف a، أما المحرف التالي:

```
L'a'
```

فهو ثابت من نوع wchar_t، وعند استخدام المحارف متعددة البايتات في المثال الذي سبقه، فهذا يعني أن قيمته تساوي محارف متعددة في محرف ثابت واحد على سبيل المثال:

```
'xy'
```

في الحقيقة، يُعد هذا التعبير صحيحًا ولكنه يعني شيئًا طريفًا. وسيُحوَّل المحرف متعدد البايتات في المثال الثاني إلى قيمة `wchar_t` الموافقة.

إذا لم تفهم جميع التفاصيل المتعلقة بالمحارف العريضة، فكل ما هنالك قوله هو أننا حاولنا أفضل ما لـدينا لشرحها، عُد مرةً أخرى لاحقًا واقرأها من جديد، لعل التفاصيل تصبح مفهومـة عنـدها. تـدعم المحـارف العريضـة عمليًّا استخدام مجموعات المحارف الموسعة في لغة سي وستفهمها حالما تعتاد عليها.

**تمرين 15.2**: بفـرض أن أحجـام الأنـواع `char` و `int` و `long` هي 8 بت و16 بت و32 بت على الـترتيب، وأن `char` يُحوَّل افتراضيًّا إلى `unsinged char` في نظام ما، ما هو النـوع النـاتج من التعـابير الـتي تتضـمن خليطًا من المتغيرات التالية، بعد تطبيق عمليات التحويل الحسابية؟

1. متغيرات من نوع `signed char`.
2. متغيرات من نوع `unsinged char`.
3. نوع `int` و `unsigned int`.
4. نوع `int` و `unsigned long`.
5. نوع `char` و `long`.
6. نوع `char` و `float`.
7. نوع `float` و `float`.
8. نوع `float` و `long double`.

## و. التحويل بين الأنواع Cast

في بعض الأحيان، ينتج نوع بيانات من تعبير ما ولكنك لا تريد استخدام هذا النوع، وتريد تحويله قسـريًّا إلى نـوع مختلـف، وهـذا هـو الغـرض من **التحويـل بين الأنـواع casts**. عنـد وضـع اسـم النـوع بين قوسـين على النحو التالي:

```
(int)
```

فأنت تنشئ هنا عاملًا أحاديًا unary operator يُسمّى بالتحويـل بين الأنـواع cast، إذ يغـير التحويـل بين الأنواع قيمة التعبير الواقع على يمينـه إلى النـوع المحـدد بـداخل الأقـواس. على سـبيل المثـال، إذا كنت تجـري عملية القسمة بين عددين صحيحين `a/b` فسيستخدم التعبير الناتج قسـمة الأعـداد الصـحيحة ويتخلص من أي باقي، ويمكنك استخدام متغيرات وسيطة من نوع أعداد عشرية للحفاظ على الجزء العشري من القيمة الناتجة أو استخدام التحويل بين الأنواع. يوضح المثال التالي الطريقتين:

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

/*
* Illustrates casts.
* For each of the numbers between 2 and 20,
* print the percentage difference between it and the one
* before
*/
main(){
	int curr_val;
	float temp, pcnt_diff;

	curr_val = 2;
	while(curr_val <= 20){
		/*
		 * % difference is
		 * 1/(curr_val)*100
		 */
		temp = curr_val;
		pcnt_diff = 100/temp;
		printf("Percent difference at %d is %f\n",
			curr_val, pcnt_diff);
		/*
		 * Or, using a cast:
		 */
		pcnt_diff = 100/(float)curr_val;
		printf("Percent difference at %d is %f\n",
			curr_val, pcnt_diff);
		curr_val = curr_val + 1;
	}
	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 8.2]

الطريقة الأسهل لتتذكر الاستخدام الصحيح للتحويل بين الأنواع هو كتابته وكأنك تُصرّح عن متحول من نـوع تريده، ومن ثم ضع الأقواس حول التصريح بالكامل واحذف اسم المتغـير، ممـا سـيعطيك التحويـل بين الأنـواع. يوضح الجدول 6 بعض الأمثلة البسيطة، قد تلاحظ أن بعض الأنـواع لم تُقـدّم بعـد، لكن سيتوضّـح التحويـل بين الأنواع أكثر عند استخدام الأنواع المعقدة. تجاهل الأمثلة التي لا تفهمها بعد، لأنك سـتكون قـادرًا على اسـتخدام هذا الجدول مثل مرجعٍ لاحقًا.

الجدول 6: التحويل بين الأنواع

| التصريح | التحويل بين الأنواع | النوع |
|---|---|---|
| `int x;` | `(int)` | `int` |
| `float f;` | `(float)` | `float` |
| `char x[30];` | `(char [30])` | مصفوفة من `char` |
| `int *ip;` | `(int *)` | مؤشر إلى `int` |
| `int (*f)();` | `(int (*) ())` | مؤشر لدالة تُعيد النوع `int` |

## 2.8.2 العوامل Operators

يعرض هذا القسم مفهوم العوامل في لغة C وكيفية استخدامها في العمليات والتعليمات.

### ا. عوامل المضاعفة

تتضمن عوامل المضاعفة multiplicative operators عامل الضرب "`*`" والقسـمة "`/`" وبـاقي القسـمة "`%`"، ويعمل عاملا الضرب والقسمة بالطريقة التي تتوقع أن تعملان بها، لكلٍّ من الأنواع الحقيقية والصحيحة، إذ تنتج قيمة مقتطعة دون فواصل عشرية عند تقسيم الأعداد الصحيحة ويكون الاقتطاع باتجاه الصفر. يعمل عامل بـاقي القسـمة وفـق تعريفـه فقـط مـع الأنـواع الصـحيحة، لأن القسـمة الناتجـة عن الأعـداد الحقيقيـة لن تعطينا باقيًا.

إذا كانت القسمة غير صحيحة، وكان أيٌّ من المُعاملان غير سالب، فنتيجة العامـل "/" هي موجبـة ومقرّبـة باتجاه الصفر، ونستخدم العامل "%" للحصول على الباقي من هذه العملية، على سبيل المثال:

```
9/2 == 4
9%2 == 1
```

إذا كان أحد المُعاملات سالب، فنتيجة العامل "/" قد تكون أقرب عدد صـحيح لنتيجـة القسـمة على أي من الاتجاهين (باتجاه الأكبر أو الأصغر)، وقد تكون إشارة نتيجـة العامـل "%" موجبـةً أو سـالبة، وتعتمـد النتيجـتين السابقتين حسب تعريف التنفيذ. التعبير الآتي مساوٍ الصفر في جميع الحالات عدا حالة `b` مساوية للصفر.

```
(a/b)*b + a%b - a
```

تُطبّق التحويلات الحسابية الاعتيادية على كلا المُعاملين.

## ب. عوامل الجمع

تتضمن عوامل الجمع additive operators عامل الجمع "+" والطرح "-"، وتتبع طريقة عمل هذه الدوال قواعدها المعتادة التي تعرفها. للعامل الثنائي والأحادي نفس الرمز، ولكن لكل واحد منهما معنًى مختلف؛ فعلى سبيل المثال، يَستخدم التعبيران a+b وa-b عاملًا ثنائيًّا (العامل - للجمع و + للطرح).

إذا أردنا استخدام العوامل الأحادية بذات الرموز، فسنكتب +b أو -b، ولعامل الطرح الأحادي وظيفةٌ واضحة ألا وهي أخذ القيمة السالبة لقيمة المُعامل، ولكن ما وظيفة عامل الجمع الأحادي؟ في الحقيقة لا يـؤدي أي دور؛ ويُعد عامل الجمع الأحادي إضافةً جديدة إلى اللغة، إذ يعادل وجوده وجود عامل الطرح الأحادي ولكنه لا يؤدي أي دور لتغيير قيمة التعبير. القلة من مستخدمي لغة سي القديمة لاحظ عدم وجوده.

تُطبّق التحويلات الحسابية الاعتياديـة على كـلٍّ من مُعـاملات العوامـل الثنائيـة (للجمـع والطـرح)، وتُطبّـق الترقية العددية الصحيحة على مُعاملات العوامل الأحادية فقط.

## ج. عوامل العمليات الثنائية

واحدة من مزايا لغة سي هي الطريقة التي تسمح بها لمبرمجي النظم بالتعامل مع الشيفرة البرمجيـة وكأنهـا شيفرة تجميعية Assembly code، وهو نوع شيفرة برمجية كان شائعًا قبل مجيء لغة سي، وكان هذا النوع من الشيفرات صعب التشغيل على عدة منصات (غير محمول non-portable). كما وضحت لنا لغـة سـي أن هـذا الأمر لا يتطلب سحرًا لجعل الشيفرة محمولة، لكن ما هو هذا الشيء؟ هو ما يُعرف أحيانًا باسـم "العبث بالبِتـات bit-twiddling" وهي عملية التلاعب ببتـات متغـيرات الأعـداد الصـحيحة على نحـوٍ منفـرد. لا يمكن اسـتخدام عوامل العمليات الثنائية bitwise operators على مُعاملات من نوع أعداد حقيقية إذ لا تُعد البتات الخاصة بها منفردة individual أو يمكن الوصول إليها.

هنـاك سـتة عوامـل للعمليـات الثنائيـة موضـحة في الجـدول 7، الـذي يوضـح أيضًـا نـوع التحـويلات الحسابية المُطبّقة.

الجدول 7: عوامل العمليات الثنائية

| العامل | التأثير | التحويل |
|---|---|---|
| & | العملية الثنائية AND | التحويلات الحسابية الاعتيادية |
| \| | العملية الثنائية OR | التحويلات الحسابية الاعتيادية |
| ^ | العملية الثنائية XOR | التحويلات الحسابية الاعتيادية |
| << | إزاحة إلى اليسار | الترقية العددية الصحيحة |
| >> | إزاحة إلى اليمين | الترقية العددية الصحيحة |

| العامل | التأثير | التحويل |
|---|---|---|
| ~ | المتمم الأحادي one's complement | الترقية العددية الصحيحة |

العامل الوحيد الأحادي هو الأخير (المتمم الأحادي)، إذ يعكس حالة كل بِت في قيمة المُعامل وله نفس تأثير عامل الطرح الأحادي في حاسوب يعمل بنظام المتمم الأحادي، لكن معظم الحواسيب الآن تعمل بنظام المتمم الثنائي، لذلك وجوده مهم.

سيسهّل استخدام النظام الست عشري عن استخدام النظام العشري فهم طريقة هذه العوامل، لذا حان الوقت الآن لأن نعرفك على الثوابت الست عشرية. أي رقم يُكتب في بدايته "0x" يفسّر على أنه رقم ست عشري، على سبيل المثال القيمة "15" و"0xf"، أو "0XF" متكافئتان، جرّب تشغيل المثال التالي على حاسوبك، أو الأفضل من ذلك تنبّأ بوظيفة البرنامج قبل تشغيله.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){
	int x,y;
	x = 0; y = ~0;

	while(x != y){
		printf("%x & %x = %x\n", x, 0xff, x&0xff);
		printf("%x | %x = %x\n", x, 0x10f, x|0x10f);
		printf("%x ^ %x = %x\n", x, 0xf00f, x^0xf00f);
		printf("%x >> 2 = %x\n", x, x >> 2);
		printf("%x << 2 = %x\n", x, x << 2);
		x = (x << 1) | 1;
	}
	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 2.9]

لنتكلم أوّلًا عن طريقة عمل الحلقة التكرارية في مثالنا، إذ أن المتغير الذي يتحكم بالحلقة هو x ومُهيّأ بالقيمة صفر، وفي كل دورة تُوازن قيمته مع قيمة y الذي ضُبِط بنمطٍ مستقل بنفس طول الكلمة ومكون من الواحدات، وذلك بأخذ المتمم الأحادي للصفر، وفي أسفل الحلقة يُزاح المتغير x إلى اليسار مرةً واحدةً وتُجرى العملية الثنائية OR عليه، مما ينتج سلسلةً تبدأ على النحو التالي: "0، 1، 11، 111، ..." بالنظام الثنائي.

تُجرى العمليات الثنائية على x باستخدام كل من عوامل AND وOR وXOR (أي OR الحصرية أو دارة عدم التماثل) إضافةً إلى مُعاملات أخرى جديرة بالاهتمام، ومن ثم تُطبع النتيجة.

نجد أيضًا عوامل الإزاحة إلى اليمين واليسار، التي تعطينا نتيجةً بنوع وقيمة المُعامل الموجود على الجهة اليسرى مزاحةً إلى الجهة المحددة عددًا من المراتب حسب المُعامل الموجود على جهتها اليمنى، ويجب أن يكون المُعاملان أعدادًا صحيحة. تختفي البِتات المُزاحة إلى أي من طرفي المُعامل الأيسر، وينتج عن إزاحة مقدار من البتات أكبر من البتات الموجودة في الكلمة نتيجةً معتمدةً على التنفيذ.

تضمن الإزاحة إلى اليسار إزاحة الأصفار إلى البتات منخفضة الترتيب، بينما تكون الإزاحة إلى اليمين أكثر تعقيدًا، إذ إن الأمر متروك لتنفيذك للاختيار بين إجراء إزاحة منطقية أو حسابية إلى اليمين عند إزاحة المُعاملات ذات الإشارة. هذا يعني أن الإزاحة المنطقية تُزيح الأصفار باتجاه البت ذو الأكثر أهمية، بينما تنسخ الإزاحة الحسابية محتوى البت الأكثر أهمية الحالي إلى البت نفسه، ويصبح الخيار أوضح إذا أُزيح مُعامل عديم الإشارة إلى اليمين، ولا يوجد أي خيار هنا، إذ يجب أن تكون الإزاحة منطقية. ولهذا السبب يجب أن تتوقع أن تكون القيمة المُزاحة عند استخدام الإزاحة إلى اليمين مصرحٌ عنها مثل قيمةٍ عديمة الإشارة، أو أن يُحوّل نوعها cast إلى عديمة الإشارة لإجراء عملية الإزاحة كما يصف المثال التالي ذلك:

```
int i,j;
i = (unsigned)j >> 4;
```

لا ينبغي على المُعامل الثاني (على الطرف الأيمن) لعامل الإزاحة أن يكون ثابتًا، إذ من الممكن استخدام أي دالة ذات نوع عدد صحيح؛ ومن المهم هنا الإشارة إلى أن قوانين مزج أنواع المُعاملات لا تنطبق على عوامل الإزاحة، إذ أن نوع نتيجة الإزاحة هي النوع المُزاح ذاته (بعد الترقية العددية الصحيحة) ولا تعتمد على أي شيءٍ آخر.

لنتكلم عن شيء مختلف قليلًا، وهي إحدى الحيل المفيدة التي يستخدمها مبرمجو لغة سي لكتابة برامجهم على نحوٍ أفضل. إذا أردت تشكيل قيمةٍ تحتوي على واحدات "1" في جميع خاناتها عدا البِت الأقل أهمية، بهدف تخزين نمطٍ آخر فيها، فمن غير المطلوب معرفة طول الكلمة في النظام الذي تستخدمه. على سبيل المثال، تستطيع استخدام الطريقة التالية لضبط البتات الأقل ترتيبًا لمتغيرٍ من نوع int إلى 0x0f0 وجميع البتات الأخرى إلى 1:

```
int some_variable;
some_variable = ~0xf0f;
```

أُجري المتمم الأحادي على المتمم الأحادي لنمط البتات منخفضة الترتيب المرغوب، وهذا يُعطي بدوره القيمة المطلوبة والمستقلة تمامًا عن طول الكلمة، وهو شيء متكرر الحدوث في شيفرة لغة سي.

لا يوجد هناك مزيدٌ من الأشياء لقولها عن عوامل التلاعب بالبتات، وتجربتنا في تعليم لغة سي تدلنا على أنها سهلة الفهم والتعلم من معظم الناس، لذا دعنا ننتقل للموضوع التالي.

### د. عوامل الإسناد

العنوان ليس خطأً مطبعيًا بل قصدنا "عوامل" بالجمع، إذ أن لدى لغة سي عدة عوامل إسناد على الرغم من رؤيتنا للعامل "=`"فقط حتى الآن. المثير للاهتمام بخصوص هذه العوامل هو أنها تعمل مثل العوامل الثنائية الأخرى، إذ تأخذ مُعاملين وتعطينا نتيجة، وتستخدم النتيجة لتكون جزءًا من التعبير. مثلًا في هذا التعبير:

```
x = 4;
```

تُسند القيمة 4 إلى المتغير x، والنتيجة عن إسناد القيمة إلى المتغير x هو استخدامها على النحو التالي:

```
a = (x = 4);
```

إذ ستخزِّن a القيمة 4 المُسندة إليها بعد أن تُسنَد إلى x. تجاهلت جميع عمليات الإسناد السابقة التي نظرنا إليها لحد اللحظة (عدا مثال واحد) ببساطة القيمة الناتجة عن عملية الإسناد بالرغم من وجودها.

بفضل هذه القيمة، يمكننا كتابة تعابير مشابهة لهذه:

```
a = b = c = d;
```

إذ تُسند قيمة المتغير d إلى المتغير c وتُسند هذه النتيجة إلى b وهكذا دواليك، ونلاحظ هنا معالجة تعابير الإسناد من الجهة اليمنى إلى الجهة اليسرى، ولكن ماعدا ذلك فهي تعابير اعتيادية (القوانين التي تصف اتجاه المعالجة من اليمين أو من اليسار موجودةٌ في الجدول 9.2.).

هناك وصف موجود في القسم الذي يتكلم عن "التحويلات"، يصف ما الذي سيحدث في حالة التحويل من أنواع طويلة إلى أنواع قصيرة، وهذا ما يحدث عندما يكون المُعامل الذي يقع على يسار عامل الإسناد البسيط أقصر من المُعامل الذي يقع على يمينه.

عوامل الإسناد المتبقية هي عوامل إسناد مركّبة، وتعد اختصاراتٌ مفيدة يمكن اختصارها عندما يكون المُعامل ذاته على يمين ويسار عامل الإسناد، على سبيل المثال، يمكن اختصار التعبير التالي:

```
x = x + 1;
```

إلى التعبير:

```
x += 1;
```

وذلك باستخدام إحدى عوامل الإسناد المركّبة، وتكون النتيجة للتعبير الأول هي ذاتها للتعبير الثاني المختصر في أي حالة. يصبح هذا الأمر مفيدًا عندما يكون الجانب الأيسر من العامل تعبيرًا معقّدًا، وليس متغيرًا

وحيدًا، وذلك في حالة استخدام المصفوفات والمؤشرات. يميل معظم مبرمجي لغة سي لاستخدام التعبير في المثال الثاني لأنه يبدو "أكثر منطقية"، وهذا ما يختلف عنده الكثير من المبتدئين عند تعلُّم هذه اللغة. يوضح الجدول 8 عوامل الإسناد المركبة، وستلاحظ استخدامنا المكثّف لها من الآن فصاعدًا.

الجدول 8: عوامل الإسناد المركبة

| |
|---|
| *= |
| += |
| &= |
| >>= |

تُطبَّق التحويلات الحسابية في كل حالة وكأنها تُطبق على كامل التعبير، أي كأن التعبير a+=b مثلًا مكتوبٌ على النحو a=a+b.

للتذكير، تحمل نتيجة عامل الإسناد نوع وقيمة الكائن الذي أُسند إليه.

## ه. عوامل الزيادة والنقصان

قدّمت لغة سي عاملين أحاديين مميزين لإضافة واحد أو طرحه من تعبيرٍ ما نظرًا لشيوع هذه العملية البسيطة؛ إذ يضيف عامل الزيادة "++" واحدًا، ويطرح عامل النقصان "--" واحدًا، وتُستخدم هذه العوامل على النحو التالي:

```
x++;
++x;
x--;
--x;
```

إذ من الممكن أن يقع العامل قبل أو بعد المُعامل، ولا يختلف عمل العامل في الحالات الموضحة سابقًا حتى لو اختلف موقعه، ولكن الحالة تصبح أكثر تعقيدًا في بعض الأحيان ويصبح الفرق وفهمه مهمّان للاستخدام الصحيح.

إليك الفرق موضحًا في المثال التالي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main(){
      int a,b;
      a = b = 5;
      printf("%d\n", ++a+5);
```

```
        printf("%d\n", a);
        printf("%d\n", b++ +5);
        printf("%d\n", b);
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 10.2]

خرج المثال السابق هو:

```
11
6
10
6
```

يعود السبب في الفرق في النتائج إلى تغيير مواضع العوامل؛ فإذا ظهر عامل الزيادة أو النقصان قبل المتغير، فستتغيّر القيمة بمقدار واحد و تُستخدم القيمة **الجديدة** ضمن التعبير؛ أما إذا ظهر العامل بعد المتغير فستُستخدم القيمة **القديمة** في التعبير، ثم تُغيّر قيمة المتغير.

لا يستخدم مبرمجو سي عادةً التعليمة التالية لطرح أو جمع واحد:

```
x += 1;
```

بل يستخدمون التعليمة التالية:

```
x++; /* or */ ++x;
```

ينبغي تجنُّب استخدام المتغير ذاته أكثر من مرة في ذات التعبير إذا كان هذا النوع من العوامل مرتبطًا به، إذ لا يوجد هناك أي قاعدة واضحة تدلك على الجزء المحدد من التعبير الذي ستتغير فيه قيمة المتغير. قد يختار المصرّف "حفظ" جميع التغييرات وتطبيقها دفعةً واحدة، فعلى سبيل المثال لا يضمن التعبير التالي إسناد قيمة x الأصلية مرّتين إلى y:

```
y = x++ + --x;
```

وقد يُقيّم كما لو كان قد جرى توسعته إلى التعبير التالي:

```
y = x + (x-1);
```

لأن المصرّف يلاحظ عدم وجود تأثير أبدًا على قيمة x.

تُجرى العمليات الحسابية في هذه الحالة تمامًا كما في حالة تعبـير جمـع، مثلًا `x=x+1`، وتُطبّـق التحـويلات الحسابية الاعتيادية.

**تمرين 16.2**: بالنظر إلى تعريف الدالتين التاليتين:

```
int i1, i2;
float f1, f2;
```

1. كيف يمكنك إيجاد باقي القسمة عند تقسيم `i1` على `i2`؟
2. كيف يمكنك إيجاد باقي القسمة عند تقسيم `i1` على `f1`، إذ أن `f1` عدد صحيح؟
3. ما الذي يمكنك تنبؤه بخصوص إشارة بواقي القسمة الناتجة من العمليتين السابقتين؟
4. ما هي المعاني التي قد يحملها العامل `-`؟
5. كيف يمكنك تحييد جميع البتات عدا البتات الأربع الأقل ترتيبًا في `i1`؟
6. كيف يمكنك تشغيل جميع البتات الأربع الأقل ترتيبًا في `i1`؟
7. كيف يمكنك تحييد البتات الأربع الأقل ترتيبًا فقط في `i1`؟
8. كيف يمكنك وضع قيمة الثماني بتات الأقل ترتيبًا للمتغـير `i2` في `i1`، مـع قلب أهميـة البتـات الأربـع الأقل ترتيبًا من البتات التي تليها؟

ما الخطأ في التعبير التالي؟

```
f2 = ++f1 + ++f1;
```

## و. الأسبقية والتجميع

علينا النظر إلى الطريقة التي تعمل بها هذه العوامل بعد التكلم عنها. قد تعتقد أن عملية الجمع ليست بتلك الأهمية، فنتيجة التعبير

```
a + b + c
```

مساويةٌ للتعبير:

```
(a + b) + c
```

أو التعبير:

```
a + (b + c)
```

أليس كذلك؟ في الحقيقة لا، فهناك فرقٌ بين التعابير السابقة؛ فإذا تسبَّب التعبير a+b بحالة طفحان، وكانت قيمة المتغير c قريبة من قيمة b-، فسيعطي التعبير الثاني الإجابة الصحيحة، بينما سيتسبب الأول بسلوك غير محدد. يمكننا ملاحظة هذه المشكلة بوضوح أكبر باستخدام قسمة الأعداد الصحيحة، إذ يعطي التعبير التالي:

```
a/b/c
```

نتائج مختلفةً تمامًا عند تجميعه بالطريقة:

```
a/(b/c)
```

أو بالطريقة:

```
(a/b)/c
```

يمكنك تجربة استخدام القيم a=10 و b=2 و c=3 للتأكُّد، إذ سيكون التعبير الأول: 10/(2/3)، ونتيجة 2/3 في قسمة الأعداد الصحيحة هي 0، لذلك سنحصل على 10/0، مما سيسبب طفحانًا overflow؛ بينما سيعطينا التعبير الثاني القيمة (10/2)، وهي 5، وبتقسيمها على 3 تعطينا 1.

يُعرَف تجميع العوامل على هذا النحو بمصطلح **الارتباط associativity**، والمكون الثاني لتحديد طريقة عمل العوامل هو **الأسبقية precedence**، إذ لبعض العوامل أسبقيةٌ عن عوامل أخرى، وتُحسب قيم العوامل هذه في التعابير الفرعية أولًا قبل الانتقال إلى العوامل الأقل أهمية. تُستخدم قوانين الأسبقية في معظم لغات البرمجة عالية المستوى. "نعلم" أن التعبير:

```
a + b * c + d
```

يُجمّع على النحو التالي:

```
a + (b * c) + d
```

إذ أن عملية الضرب ذات أسبقية أعلى موازنةً بعملية الجمع.

تحظى لغة سي بوجود 15 مستوى أسبقية بفضل مجموعة العوامل الكبيرة التي تحتويها، يحاول القلة من الناس تذكرها جميعًا. يوضح الجدول 9 جميع المستويات، ويصف كلًّا من الأسبقية والارتباط. لم نتكلم عن جميع العوامل المذكورة في الجدول بعد. كن حذرًا من استخدام نفس الرمز لبعض العوامل الأحادية والثنائية، والموضحة في الجدول أيضًا.

الجدول 9: أسبقية العوامل وترابطها

| العامل | الاتجاه | ملاحظات |
|---|---|---|
| `() [] -> .` | من اليسار إلى اليمين | 1 |
| `! ~ ++ -- + - (cast) * & sizeof` | من اليمين إلى اليسار | جميع العوامل أحادية |
| `* / %` | من اليسار إلى اليمين | عوامل ثنائية |
| `+ -` | من اليسار إلى اليمين | عوامل ثنائية |
| `<< >>` | من اليسار إلى اليمين | عوامل ثنائية |
| `> >= < <=` | من اليسار إلى اليمين | عوامل ثنائية |
| `== !=` | من اليسار إلى اليمين | عوامل ثنائية |
| `&` | من اليسار إلى اليمين | عامل ثنائي |
| `^` | من اليسار إلى اليمين | عامل ثنائي |
| `\|` | من اليسار إلى اليمين | عامل ثنائي |
| `&&` | من اليسار إلى اليمين | عامل ثنائي |
| `\|\|` | من اليسار إلى اليمين | عامل ثنائي |
| `?:` | من اليمين إلى اليسار | 2 |
| `= +=` وجميع عوامل الإسناد المركّبة | من اليمين إلى اليسار | عوامل ثنائية |
| `,` | من اليسار إلى اليمين | عامل ثنائي |

1. الأقواس بهدف تجميع التعابير، و**ليس** استدعاء الدوال.
2. هذا العامل غير مألوف، راجع القسم 1.4.3. مثال عن تنفيذ عملية الدخل.

السؤال هنا هو، كيف أستطيع الاستفادة من هذه المعلومات؟ من المهم طبعًا أن تكون قادرًا على كتابة تعابير تعطي قيمًا صحيحة بمعرفة ترتيب تنفيذ العمليات، إضافةً إلى فهم وقراءة تعابير مكتوبة من مبرمجين آخرين. تبدأ خطوات كتابة تعبير أو قراءة تعبير مكتوب بالعثور على العامل الأحادي والمُعاملات المرتبطة معه، وهذه ليست بالمهمة الصعبة ولكنها تحتاج إلى بعض التمرين، بالأخص عندما تعرف أنه يمكن استخدام العوامل عددًا من المرات الاعتباطية بجانب مُعاملاتها، مثل التعبير التالي باستخدام العامل * الأحادي:

```
a*****b
```

يعني التعبير السابق أن المتغير a مضروبٌ **بقيمة ما**، وهذه القيمة هي تعبير يتضمن b وعددًا من عوامل * الأحادية.

تحديد العوامل الأحادية في التعبير ليست بالمهمة الصعبة، إليك بعض القواعد التي يجب أن تلجأ إليها:

1. العاملان "++" و "--" أحاديان في جميع الحالات.

2. العامل الذي يقع على يمين المُعامل مباشرةً هو عامل ثنائي (في حالة لم تتحقق القاعدة 1)، إذا كان العامل الذي يقع على يمين المُعامل ذاك ثنائيًّا.
3. جميع العوامل الواقعة على يسار المُعامل أحادية (في حالة لم تتحقق القاعدة 2).

يمكنك دائمًا التفكير بعمل العوامل الأحادية أولًا قبل العوامل الأخرى بسبب أسبقيتها المرتفعة، إذ من الأشياء التي يجب عليك الانتباه عليها هي مواضع العاملين "++" و "--" إذا كانا قبل أو بعد المُعامل، فعلى سبيل المثال يحتوي التعبير التالي:

```
a + -b++ + c
```

على عاملين أحاديين مُطبقّان على b. ترتبط العوامل الأحادية من اليمين إلى اليسار، إذًا على الرغم من قدوم - أولًا، يُكتب التعبير على النحو التالي (باستخدام الأقواس للتوضيح):

```
a + -(b++) + c
```

تصبح الحالة أكثر وضوحًا إذا استُخدم العامل في البداية prefix بدلًا من النهاية postfix مثل عامل زيادة أو نقصان، ويكون الترتيب من اليمين إلى اليسار في هذه الحالة أيضًا، ولكن العوامل ستظهر متتاليةً بجانب بعضها بعضًا.

بعد تعلُّمنا لطريقة فهم العوامل الأحادية، أصبح من السهل قراءة التعبير من اليسار إلى اليمين، وعندما تجد عاملًا ثنائيًا أبقِه في بالك، وانظر إلى يمينه؛ فإذا كان العامل الثنائي التالي ذو أسبقية أقل فسيكون العامل الذي تنظر إليه (الذي تبقيه في بالك) هو جزء من تعبير جزئي عليك تقييم قيمته قبل أي خطوة أخرى؛ أما إذا كان العامل الثنائي التالي من نفس الأسبقية فأعِد تنفيذ العملية حتى تصل إلى عامل ذو أسبقية مختلفة؛ وعندما تجد عاملًا ذا أسبقية منخفضة، قيّم قيمة التعبير الجزئي الواقع على يسار العامل وفقًا لقوانين الارتباط؛ أما إذا وجدت عاملًا ذا أسبقية عالية فانسَ جميع ما سبقه، إذ أن المُعامل الواقع على يسار العامل عالي الأسبقية هو جزءٌ من تعبير جزئي آخر يقع على الطرف الأيسر وينتمي إلى العامل الجديد.

لا تقلق إذا لم تتّضح لديك الصورة بعد، إذ يواجه العديد من مبرمجي لغة سي مشكلات تتعلق بهذه النقطة، ويعتادون فيما بعد على تجميع التعابير "بنظرة عين"، دون الحاجة لتطبيق القوانين مباشرةً.

لكن الأمر **المهم** هنا هو الخطوة التي تلي تجميعك لهذه التعابير، أتذكر "التحويلات الحسابية الاعتيادية"؟ إذ فسَّرت هذه التحويلات كيف يمكنك التنبؤ بنوع التعبير عن طريق النظر إلى المُعاملات الموجودة. والآن إذا مزجت أنواعًا مختلفة في تعبير معقد، ستُحدّد أنواع التعابير الجزئية فقط من خلال أنواع المُعاملات الموجودة في التعبير الجزئي، ألقِ نظرةً على المثال التالي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
```

```
main(){
      int i,j;
      float f;

      i = 5; j = 2;
      f = 3.0;

      f = f + j / i;
      printf("value of f is %f\n", f);
      exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 11.2]

قيمة الخرج هي 3.0000 وليس 5.0000 مما يفاجئ البعض الذي اعتقد أن القسمة ستكون قسمة أعـداد حقيقية فقط لأن متغير من نوع float كان موجودًا في التعليمة.

كان عامل القسـمة بـالطبع يحتـوي على متغـيرين من نـوع int فقـط على الجـانبين، لـذا أُجـريت العمليـة الحسابية على أنها قسمة أعداد صحيحة وأنتجت صفرًا، واحتوى عامـل الجمـع على float و int على طرفيـه، وبذلك -وحسب قوانين التحويلات الحسابية الاعتيادية- يُحوَّل النوع int إلى float، وهو النوع الصحيح لإجـراء عملية الإسناد أيضًا، مما أعفانا من تحويلات أخرى.

استعرض القسم السابق عن تحويل الأنواع casts طريقةً لتغيير نـوع التعبـير من نوعـه الطـبيعي إلى النـوع الذي تريده، ولكن كُن حذرًا، إذ سيستخدم التحويل التالي قسمة صحيحة:

```
(float)(j/i)
```

ثم يحوّل النتيجة إلى float، وللمحافظة على باقي القسمة، يجب عليك كتابة التحويل بالطريقة:

```
(float)j/i
```

مما سيجبر استخدام القسمة الحقيقية.

### 2.8.3 الأقواس

كما وضّح المثال السابق، يمكنك تجاوز أسبقية وارتباط لغة سي الاعتيادية عن طريق استخدام الأقـواس. لم يكن للأقواس أي معنًى آخر في لغة سي القديمة، و**لم** تضمن أيضًا ترتيب تقييم القيمة ضمن التعابير، مثل:

```
int a, b, c;
```

```
a+b+c;
(a+b)+c;
a+(b+c);
```

إذا كان عليك استخدام متغيرات مؤقتة للحصول على ترتيب التقييم كما أردته، وهو أمر مهم إذا كنت تعرف أن هناك بعض التعابير التي تكون عرضةً للطفحان overflow، ولتجنُّب هذا الأمر عليك أن تعدّل ترتيب تقييم التعبير.

ينص معيار سي على أن تقييم التعبير **يجب** أن يحدث بناءً على الترتيب المحدد وفق الأسبقية وتجميع التعابير، ويمكن للمصرّف أن يعيد تجميع التعابير إن لم يؤثر ذلك على النتيجة النهائية بهدف زيادة الكفاءة.

على سبيل المثال، لا يمكن للمصرّف أن يعيد كتابة التعبير التالي:

```
a = 10+a+b+5;
```

إلى:

```
a = 15+a+b;
```

إلا في حالة تأكُّده من أن القيمة النهائية لن تكون مختلفةً عن التعبير الأولي الذي يتضمن قيم a وb، وهذه الحالة محققةٌ إذا كان المتغيران من نوع عدد صحيح عديم الإشارة، أو عدد صحيح ذو إشارة وكانت العملية لا تتسبب في إطلاق استثناء عند التشغيل run-time exception والناتج عن طفحان.

### 2.8.4 الآثار الجانبية Side Effects

نعيد ونكرر التحذير الوارد بشأن عوامل الزيادة: ليس من الآمن استخدام المتغير ذاته أكثر من مرة في نفس التعبير، وذلك في حالة كان تقييم التعبير يغيّر من قيمة المتغير ويؤثر على القيمة النهائية للتعبير، وذلك بسبب التغيير (أو التغييرات) "المحفوظة" والمُطبّقة فقط عند الوصول لنهاية التعليمة. على سبيل المثال التعبير `f = f+1` آمن على الرغم من ظهور المتغير `f` مرتين في تعبير يغير من قيمتها، والتعبير `f++` آمن أيضًا، ولكن `f =; ++f` غير آمن.

تنبع المشكلة من استخدام عامل الإسناد أو عوامل الزيادة والنقصان أو استدعاء دالة تغيّر من قيمة متغير خارجي External مُستخدم في تعبير ما، وتُعرف هذه المشاكل باسم "الآثار الجانبية Side Effects"، ولا تحدد سي ترتيب حدوث هذه الآثار الجانبية ضمن تعبير ما (سنتوسّع لاحقًا بخصوص هذه المشكلة، وسنناقش "نقاط التسلسل Sequence points").

## 2.9 الثوابت

يشرح هذا القسم الأعداد الحقيقية والصحيحة الثابتة وسلاسل التهريب في لغة C.

### 2.9.1 الأعداد الصحيحة الثابتة

مبدأ الأعداد الصحيحة الثابتة بسيط، فهي تمثل أي عدد صحيح مثل 1 أو 1034 وغيرها، ويمكنك إضافة الحرف l أو L في نهاية عدد صحيح ثابت لتحويله قسريًّا إلى نوع `long`، وإضافة u أو U لتحويلها إلى `unsigned`، ويمكن كتابة الأعداد الصحيحة الثابتة بالنظام الست عشري عن طريق استخدام 0x أو 0X قبل كتابة الثابت، والأحرف a و b و c و d و e و f.

وتُكتب الأعداد الصحيحة الثابتة بالنظام الثماني أيضًا باستخدام 0 في بداية الرقم، وتستخدم الأرقام 0، 1، 2، 3، 4، 5، 6، 7 فقط. عليك الحذر هنا بهذا الشأن، إذ من السهل النظر إلى 015 ومعاملته على أنه رقم صحيح بالنظام العشري، يقع المبتدئون في هذا الخطأ أغلب الأحيان، ولكنك ستبدأ بالاعتياد على الأمر بعد اقتراف بعض الأخطاء.

قدّم معيار سي طريقة جديدة لمعرفة نوع العدد الصحيح الثابت، إذ تحدث ترقية promoted للثابت في لغة سي القديمة إلى النوع `long` في حال كان كبيرًا ولا يتسع في النوع `int` دون أي تحذيرات، وتنص القاعدة على أن التحويل يجري بهذا الترتيب إلى أن تتسع قيمة الثابت بالنظام العشري:

```
int   long   unsigned long
```

بينما تستخدم الأعداد الست عشرية والثمانية الصحيحة هذه القائمة:

```
int   unsigned int   long   unsigned long
```

إذا كان الثابت مسبوقًا بالحرف "u" أو "U":

```
unsigned int   unsigned long
```

إذا كان مسبوقًا بالحرف "l" أو "L":

```
long   unsigned long
```

وأخيرًا، إذا كان مسبوقًا بكلٍّ من u أو U و l أو L فالنوع هو `unsigned long` حصرًا.

تُجرى جميع هذه التحويلات لإعطائك النوع "الذي قصدته"، وهذا يعني أن معرفة نوع الثابت ضمن تعبير أمرٌ صعب بعض الشيء إن لم تكن تعرف أي شيء بخصوص عتاد الجهاز. لحسن الحظ هناك بعض المصرّفات التي تحذّرك عند ترقية ثابت ما إلى طول آخر ولم يُحدَّد النوع باستخدام U أو L أو غيرها.

تحوي هذه التعليمة على خطأ مُخبأ:

```
printf("value of 32768 is %d\n", 32768);
```

سيكون العدد 32768 طويلًا بالنسبة لآلة تعمل بنظام المتمم الثنائي ذي 16 بتًا وفقًا للقواعد المذكورة أعلاه، ولكن تتوقع الدالة `printf` عددًا صحيحًا فقط على أنه وسيط، ويشير`%d` إلى ذلك، إلا أن نوع هذا الوسيط خاطئ وينبغي عليك توخي الحذر وتحويل مثل هذه الحالات إلى النوع الصحيح:

```
printf("value of 32768 is %d\n", (int)32768);
```

من الجدير بالذكر أنه لا وجود للثوابت السالبة، فكتابة `-23` هو تعبيرٌ مكون من ثابت موجب وعامل.

تمتلك ثوابت المحارف نوع `int` لأسباب تاريخية، وتُكتب عن طريق وضعها بين علامتي تنصيص أحادية على النحو التالي:

```
'a'
'b'
'like this'
```

تُكتب المحارف الموسعة الثابتة بالطريقة ذاتها ولكن يسبقها وجود L:

```
L'a'
L'b'
L'like this'
```

للأسف، يمكن أن تحتوي المحارف الثابتة على أكثر من محرف واحد، ولكن تنفيذها يعطي نتيجةً مرتبطةً بالجهاز الذي تعمل عليه. تُعد المحارف الوحيدة من أفضل الحلول للبرامج المحمولة Portable، إذ تعطي قيمة عدد صحيح ثابت اعتيادي حسب تمثيل الجهاز لهذا الحرف. صادفت في تعريفنا عن المحارف الموسعة هذا المحرف `<a>` الذي يمثّل محرفًا متعدّد البايتات (رمزًا لعمليات الإدخال بالإزاحة والإخراج بالإزاحة)، ويُعد `<a>` هنا محرفًا ثابتًا، مثل المحرف `abcde`. سيتسبب هذا النوع من المحارف بالعديد من المشاكل في المستقبل، نأمل أن يحذّرك المصرّف بشأنهم.

هناك ما يُدعى باسم **سلسلة التهريب Escape sequence**، والتي تهدف إلى تسهيل عملية تمثيل بعض المحارف الخاصة التي سيكون من الصعب استخدامها ضمن محرف ثابت (هل المحرف ' ' هو محرف مسافة space أم مسافة جدولة tab؟). يوضح الجدول 10 **سلاسل التهريب** المُعرفة في المعيار.

الجدول 10: سلاسل التهريب في لغة C

| السلسلة | الغرض منها |
|---|---|
| \a | تحذير صوتي |
| \b | فراغ للخلف Backspace |
| \f | فاصل صفحة |
| \n | سطر جديد |
| \r | إرجاع المؤشر |
| \t | مسافة جدولة |
| \v | مسافة جدولة شاقولية |
| \\ | شرطة مائلة للخلف |
| \' | علامة تنصيص فردية |
| \" | علامة تنصيص مزدوجة |
| \? | إشارة استفهام |

من الممكن أيضًا استخدام سلاسل تهريب عددية لتحديد محرف باستخدام القيمة الداخلية التي تمثّله، مثل السلسلة \000 أو \xhhh، إذ أن 000 هي ثلاث خانات ثمانية و hhh هو أي عدد ممثل بالنظام الست عشري. أكثر السلاسل شيوعًا هي \033، التي تُستخدم لتمثل زرّ ESC (الهروب Escape) على لوحة المفاتيح في الحواسيب التي تعمل بترميز ASCII. انتبه إلى أن المحارف الثابتة الممثلة بالقيمة الست عشرية تشمل جميع المحارف الموجودة ضمنها، فعلى سبيل المثال إذا أردت سلسلةً نصيةً تحتوي على القيمة الست عشرية ff متبوعةً **بالحرف** f، فالطريقة الآمنة لكتابة ذلك هو استخدام خاصية ضمّ السلاسل النصية:

```
"\xff" "f"
```

إذ تمثّل السلسلة النصية:

```
"\xfff"
```

محرفًا واحدًا، مكوّنًا من ثلاثة حروف f تمثل قيمة السلسلة الست عشرية.

تتطلب بعض محارف التهريب تفسيرًا إذ أن بعضها غير واضح الوظيفة. للحصول على علامة تنصيص فردية على أنها محرف ثابت نستخدم \'، وللحصول على علامة استفهام نستخدم \?، للحصول على علامتي استفهام لا يمكنك استخدام ??، لأن السلسلة ?? تعد ثلاثية محارف Trigraph، وبالتالي، عليك استخدام ?\?\?. محرف التهريب \" مهمٌ فقط في حالة السلاسل النصية، وسنتكلم عن ذلك لاحقًا.

هنـاك هـدفان مختلفـان وراء سلاسـل التهـريب، إذ من المهم طبعًـا تمثيـل بعض المحـارف مثـل علامـة التنصيص الفردية والشرطة المائلة للخلف بوضوح، وهذا الهدف الأول، أما الهدف الثـاني فهـو مرتبـطٌ بسلاسـل التهريب التالية التي تتحكم في حركة أجهزة الطباعة، على النحو التالي:

```
\a
```

اقر ع الجرس في حال وجود شيء ما للطباعة، ولا تتحرك.

```
\b
```

فراغ للخلف.

```
\f
```

إذهب إلى أول موضع في "الصفحة التالية"، وقد يعني هذا أشياءً مختلفة لأجهزة الخرج المختلفة.

```
\n
```

إذهب إلى بداية السطر التالي.

```
\r
```

عُد إلى بداية السطر الحالي.

```
\t
```

إذهب إلى مسافة الجدولة الأفقية التالية.

```
\v
```

اذهب إلى بداية السطر الواقع في موضع مسافة الجدولة الأفقية التالية.

بالنسبة للمحارف `\b` و `\t` و `\v` إن لم يكن هنـاك موضـع موافـق فسـيكون التصـرف غـير محـدد. يتجنب المعيار ذكر الوجهات الفيزيائية للحركة بالنسبة لأجهزة الخرج، لأنها لا تعمـل من الأعلى إلى الأسـفل ومن اليسـار إلى اليمين بالضرورة كما في بيئات العمل الموجودة في الثقافة الغربية في جميع الحالات.

من المضمون أن لكل محرف مُهرَّب قيمة عدد صحيح فريدة، وتُخزَّن في النوع `char`.

### 2.9.2 الأعداد الحقيقية الثابتة

تتبع هذه الأعداد التنسيق الاعتيادي للأعداد الحقيقية:

```
1.0
2.
.1
2.634
.125
2.e5
2.e+5
.125e-3
2.5e5
3.1E-6
```

وإلى آخره. حتى لو كان هناك جزء من الرقم الحقيقي ذو قيمة صفرية يجب إظهاره بهدف تسهيل القراءة:

```
1.0
0.1
```

يدل الجزء الأسي exponent على مرتبة قوة العدد، مثلًا:

```
3.0e3
```

يكافئ قيمة العدد الصحيح الثابت:

```
3000
```

وكما ترى، يمكن استبدال `e` بالحرف `E` أيضًا لنفس الغرض، وهذه الثوابت من نوع `double` إلا في حال سبق القيمة المحرف `f` أو `F` وفي هذه الحالة هي من نوع `float`؛ وإذا سبقها `l` أو `L` فهي في هذه الحالة من نوع `long double`.

بهدف الوصف الكامل، إليك وصف رسمي يصف طبيعة الأعداد الحقيقية الثابتة:

العدد الحقيقي الثابت يحقق واحدةً من الحالات التالية:

- عدد **كسري ثابت** متبوعٌ **بأُس** اختياري.
- **سلسلة أرقام** متبوعة **بأُس**.

في الحالتين السابقتين، يمكن أن يُتبع العدد الحقيقي بالأحرف الاختيارية `f` و `l` و `F` و `L`، بحيث يتحقق:

- الثابت الكسري واحدٌ من الحالات التالية:
  - سلسلة اختيارية من **الخانات** متبوعةٌ بفاصلة عشرية متبوعةٌ **بسلسلة من الخانات**.
  - **سلسلةٌ من الخانات** متبوعةٌ بفاصلةٍ عشرية.
- الأس واحدٌ من الحالات التالية:
  - الحرف e أو E متبوعٌ برمز + أو - اختياري متبوعٌ **بسلسلة من الخانات**.
  - **سلسلة من الخانات** هي تركيب اعتباطي من خانةٍ واحدة أو أكثر.

## 2.10 خاتمة

كان هذا الفصل طويلًا ومقلقًا بعض الشيء.

ليست أبجدية لغة C -على الرغم من أهميتها- مصدرًا يوميًا لتفكير المبرمجين الممارسين، ولهذا ناقشناها، لكننا سنتجاهلها.

يمكننا قول الشيء ذاته على الكلمات المفتاحية والمعرّفات، فالفكرة منها ليست معقدة كثيرًا ومن السهل تذكرها.

نادرًا ما يسبب التصريح عن المتغيرات أي مشكلات، ولكن يجب التشديد على الفرق بين التصريح والتعريف، وإذا كان الفرق غير واضحٍ بالنسبة لك بعد، جرِّب قراءة وصف كلّ منهما مرةً أخرى.

بعيدًا عن أي سؤال، يكمن التعقيد بلا أي شك في الحالات التي تُجرى فيها الترقية العددية الصحيحة أو التحويلات الحسابية، إذ أن فهم هذه النقطة وإتقانها تمامًا أمرٌ صعبٌ بعض الشيء، ولعل قولنا ذلك يطمئن المبتدئين. لا يوجد أي شيء آخر أكثر أهمية في اللغة يستدعي اهتمامك من هذا الأمر، أو سيساعدك في كتابة برامج صحيحة يمكن الاعتماد عليها. **لا** نطلب من المبتدئين هنا تذكر جميع التفاصيل، بل نشجعهم بتعلم المزيد عن تفاصيل اللغة لبناء قدر أكبر من الثقة. بعد شهرين أو ثلاثة من تعلم وممارسة الأجزاء الأبسط من اللغة، سيحين الوقت الذي ستحتاج فيه بشدة لفهم التحويلات ما بين الأنواع.

لا يلتفت العديد من المبرمجين المتمرسين إلى أسبقية العوامل المختلفة، ما عدا بعض الحالات، وسيساعدك وجود جدول مطبوع بجانب مكتبك يحتوي مختلف مراحل الأسبقية أو مرجع سهل الفهم.

أثَّر المعيار بشدة في الأجزاء التي ذكرناها في هذا الفصل، وبالأخص التغيرات الحاصلة على التحويلات والتغيير من "المحافظة على عدمية الإشارة" إلى "المحافظة على القيمة"، وقد تُسبِّب القواعد الحسابية بعض المفاجأة لمبرمجي سي المتمرسين، إذ يتطلب الأمر منهم إعادة التعلم أيضًا.

## 2.11 تمارين

### 2.11.1 تمرين 17.2

أوّلًا، ضع التعابير التالية ضمن أقواس حسب قوانين الأسبقية والارتباط، ومن ثم استبدل المتغيرات والثوابت بأسماء أنواعها المناسبة، ووضح كيف ينتج كل نوع من التعبير باستبدال التعبير ذو الأسبقية الأعلى بنوع نتيجته.

المتغيرات هي:

```
char c;
int i;
unsigned u;
float f;
```

على سبيل المثال: يصبح التعبير `i = u+1;` بعد وضع الأقواس على النحو التالي:

```
(i = (u + 1));
```

والأنواع هي:

```
(int = (unsigned + int));
```

ومن ثم:

```
(int = (unsigned)); /* usual arithmetic conversions */
```

ومن ثم:

```
(int); /* assignment */
```

.1

```
c = u * f + 2.6L;
```

.2

```
u += --f / u % 3;
```

.3

```
i <<= u * - ++f;
```

.4

```
u = i + 3 + 4 + 3.1;
```

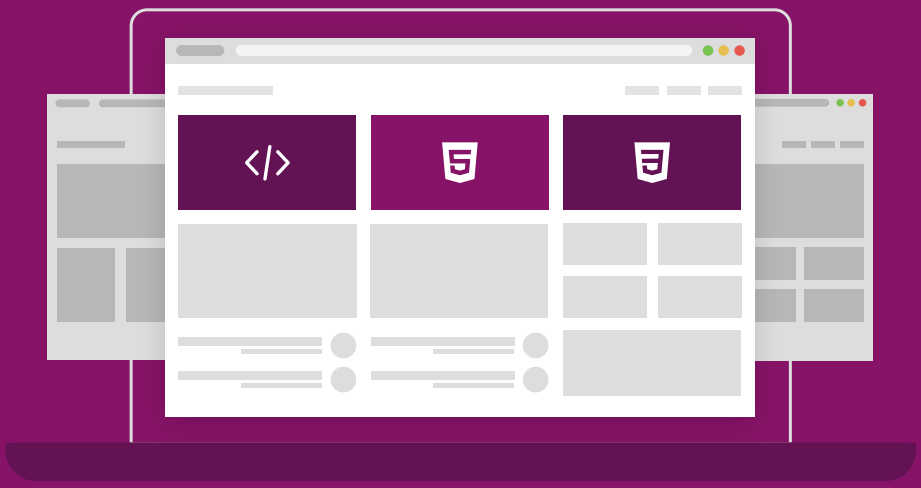
.5

```
u = 3.1 + i + 3 + 4;
```

.6

```
c = (i << - --f) & 0xf;
```

# دورة تطوير واجهات المستخدم



ابدأ مسارك المهني كمطور واجهات المواقع والمتاجر الإلكترونية
فور انتهائك من الدورة

التحق بالدورة الآن

# 3. التحكم بالتدفق والتعابير المنطقية

سـننظر في هـذا الفصـل إلى الطـرق المختلفـة الـتي تُسـتخدم بهـا تعليمـات التحكم بتـدفق التنفيذ Flow control statements في برنامج سي C، بما فيها بعض التعليمات التي لم نتطـرق إليهـا بعـد، والـتي تُستخدَم في معظم الحالات مع تعبيرات منطقيـة تحـدّد الخطـوة القادمـة، وتُعـد تعـابير `if` و `while` البسـيطة المُستخدمة سابقًا مثالًا على هذه **التعابير المنطقية Logical expressions**، ويمكنك اسـتخدام تعـابير أكـثر تعقيدًا من الموازنات البسيطة، مثل `>` و `=<` و `==` وغيرها، لكن ما قد يفاجئك هو نوع النتيجة.

## 3.1 التعابير المنطقية والعوامل العلاقية

تجنبنا عمدًا التعقيد باستخدام تعابير منطقية في تعليمات التحكم بالتدفق في جميـع الأمثلـة المُسـتخدمة سابقًا، إذ صادفنا مثلًا تعابير تشابه:

```
if(a != 100){...
```

ومن المفترض الآن أنك تعرف دعم لغة C لمفهوم "صـواب True" و"خطـأ False" لهـذه العلاقـات، لكنهـا تدعمها بطريقةٍ مختلفة عن المتوقّع.

تُسـتخدم العوامـل العلاقيـة Relational operators المـذكورة في الجـدول 11 للموازنـة بين مُعـاملين بالطريقة المذكورة، وعندما تكون المُعاملات من أنواع عددية، تطبّق التحويلات الحسابية الموافقة إليهما.

الجدول 11: العوامل العلاقيّة

| العامل | العملية |
|---|---|
| < | أصغر من |
| <= | أصغر من أو يساوي |
| > | أكبر من |
| >= | أكبر من أو يساوي |
| == | يساوي |
| != | لا يساوي |

كما أشرنا سابقًا، لا بُدّ من الانتباه لعامل اختبار المساواة == وإمكانية خلطه مع عامل الإسناد = إذ لا تحذرك لغة سي C عند حدوث ذلك كون التعبير صالح، ولكن ستكون نتائج التعبيرين مختلفة، ويستغرق المبتدئون وقتًا طويلًا للاعتياد على استخدام == و =.

لعلّك تطرح على نفسك السؤال "لماذا؟"، أي "لماذا التعبيران صالحان؟" الإجابة بسيطة، إذ تفسر لغة سي مفهوم "صواب True" و"خطأ False" بقيمة "غير صفرية" و" صفريّة"، وعلى الرغم من استخدامنا للعوامل العلاقيّة في التعابير المُستخدمة للتحكم بتعليمات if و do، إلا أننا نستخدم في الحقيقة القيمة العددية الناتجة عن هذا التعبير؛ فإذا كانت قيمة التعبير غير صفرية، فهذا يعني أن النتيجة صحيحة؛ أما إذا تحققت الحالة المعاكسة فالنتيجة خاطئ، وينطبق هذا على جميع التعابير والعوامل العلاقيّة.

توازن العوامل العلاقيّة ما بين المُعاملات وتعطي نتيجة صفر للنتيجة الخاطئة (موازنة غير محقّقة) وواحد للنتيجة الصحيحة، وتكون النتيجة من نوع int، ويوضح المثال التالي كيفية عملها:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){
    int i;

    i = -10;
    while(i <= 5){
            printf("value of i is %d, ", i);
            printf("i == 0 = %d, ", i==0 );
            printf("i > -5 = %d\n", i > -5);
            i++;
    }
```

```
    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

يعطينا المثال السابق الخرج القياسي التالي:

```
value of i is -10, i == 0 = 0, i > -5 = 0
value of i is -9, i == 0 = 0, i > -5 = 0
value of i is -8, i == 0 = 0, i > -5 = 0
value of i is -7, i == 0 = 0, i > -5 = 0
value of i is -6, i == 0 = 0, i > -5 = 0
value of i is -5, i == 0 = 0, i > -5 = 0
value of i is -4, i == 0 = 0, i > -5 = 1
value of i is -3, i == 0 = 0, i > -5 = 1
value of i is -2, i == 0 = 0, i > -5 = 1
value of i is -1, i == 0 = 0, i > -5 = 1
value of i is 0, i == 0 = 1, i > -5 = 1
value of i is 1, i == 0 = 0, i > -5 = 1
value of i is 2, i == 0 = 0, i > -5 = 1
value of i is 3, i == 0 = 0, i > -5 = 1
value of i is 4, i == 0 = 0, i > -5 = 1
value of i is 5, i == 0 = 0, i > -5 = 1
```

ما الذي تعتقد حدوثه عند تنفيذ هذه التعليمة المحتمل أنها تكون خاطئة؟

```
if(a = b)...
```

تُسند قيمة `b` إلى قيمة `a`، وكما نعلم تعطي عملية الإسناد نتيجةً من نوع `a` مهما كانت القيمة المُسـندة إلى `a`، وبالتالي ستنفِّذ تعليمة `if` الشرطية التعليمة التالية لها إذا كانت القيمـة المُسـندة لا تسـاوي الصـفر؛ أمـا إذا كانت القيمة تساوي الصفر، فستتجاهل التعليمـة التاليـة. لـذا يجب أن تفهم الآن مـا الـذي يحـدث إن أخطـأت استخدام عامل الإسناد بدلًا عن عامل المساواة!

سيُفحَص التعبير في تعليمات `if` و `while` و `do` فيما إذا كان مسـاويًا للصـفر أم لا، وسـننظر إلى كـلٍّ من هذه التعليمات عن كثب.

## 3.2 التحكم بالتدفق

### 3.2.1 تعليمة إذا if الشرطية

تُكتب تعليمة `if` بطريقتين:

```
if(expression) statement

if(expression) statement1
else statement2
```

تُنفّذ **تعليمـة إذا** الشـرطية في الطريقـة الأولى، إذا (وفقـط إذا) كـان **التعبـير expression** لا يسـاوي إلى الصفر؛ أما إذا كان **التعبير** مساويًا للصفر، ستهُمل **التعليمة statement**. تذكر بأن **التعليمة** قد تكون مُركبّـة، وذلك بوضع عدة تعليمات تابعة لتعليمة `if` واحدة.

تُشابه الطريقة الثانيـة سـابقتها، بـاختلاف أن التعليمـة `statement1` تُفحص قبـل `statement2` وتُنفّـذ واحدةٌ منهما.

تصنَّف الطريقتان بكونهما تعليمة واحـدة حسـب قواعـد صـياغة لغـة سـي، وبالتـالي يكـون المثـال التـالي صالح تمامًا.

```
if(expression)
    if(expression) statement
```

إذ تُتبع تعليمة `if (expression)` بتعليمة `if` متكاملة أخرى، وبما أنهـا تعليمـةٌ صـالحة، يمكننـا قـراءة التعليمة الشرطية الأولى على النحو التالي:

```
if(expression) statement
```

وبذلك فهي مكتوبة بصورةٍ صحيحة، كما يمكن إضافة مزيـدٍ من الوسـطاء arguments كمـا تريـد، ولكنهـا عادةٌ برمجيةٌ سيئة، ومن الأفضل أن تحاول جعل التعليمة مختصرةً قدر الإمكان حتى لو لم يكن الأمر ضروريًا في حالـة اسـتخدامها، لأن ذلـك سيسـهّل إضـافة مزيـدٍ من التعـابير إن احتجت إلى الأمـر لاحقًـا ويحسِّـن من سهولة القراءة.

ينطبق ما سبق على طريقة كتابة تعليمة `else`، ويمكنك كتابتها على النحو التالي:

```
if(expression)
  if(expression)
    statement
```

```
  else
    statement
```

كما ذكرنا في الفصل الأول، ما تزال طريقة الكتابة هذه باستخدام المسافات فقط غامضة وغير واضحة، فأي تعليمات `else` تتبع لتعليمات `if`؟ إذا اتبعنا المسافات في مثالنا فسيوحي هذا لنا بأن التعليمة `if` الثانية متبوعةٌ بالتعليمة `statement` مما يجعل كل منها تعليمةً مستقلة، و `else` إذًا تنتمي للتعليمة الشرطية الأولى.

هذه **ليست** الطريقة التي تنظر بها لغة C إلى المثال، إذ تنص القاعدة على أن `else` تتبع التعليمة الشرطية `if` التي تسبقها إن لم تحتوي هذه التعليمة على `else`؛ وبالتالي تتبع `else` إلى التعليمة الشرطية الثانية في المثال الذي ناقشناه.

لتجنُّب أي مشكلة بخصوص `else` و `if` كما لاحظنا في المثال السابق، يمكن إهمال التعليمة الشرطية باستخدام تعليمة مركّبة. بالعودة إلى مثالنا السابق في الفصل الأول:

```
if(expression){
    if(expression)
            statement
}else
    statement
```

والذي يصبح باستخدام أقواس التعليمات المركّبة على النحو التالي:

```
if(expression){
    if(expression){
        statement
    }
}else{
    statement
}
```

إن لم يرق لك مكان الأقواس في المثال السابق، فتغيير مكانها هو تفضيل شخصي ويمكنك تعديله لما تراه مناسبًا، لكن فقط كن متسقًا حيال ذلك، كما تجدر الإشارة إلى أن هناك كثيرٌ من التعصُّب بين المبرمجين بخصوص المكان الصحيح.

### 3.2.2 تعليمة do و while التكرارية

تعليمة `while` بسيطة:

```
while(expression)
    statement
```

تُنفَّذ **التعليمة** في حال كانت قيمة **التعبير** لا تساوي الصفر، وتُفحص قيمة **التعبير** مجدّدًا بعد كل تكرار وتُعاد التعليمة إذا لم تكن قيمة التعبير مساويةً لصفر. هل هناك أي شيء أكثر وضوحًا من ذلك؟ النقطة الوحيدة الواجب الانتباه بشأنها هي إمكانية عدم تنفيذ **التعليمة** على الإطلاق، أو تنفيذها بدون توقُّف إذا لم تتضمن **التعليمة** أي شيء يؤثر على قيمة **التعبير** المبدئيّة.

نحتاج في بعض الأحيان تنفيذ التعليمة مرةً واحدةً على الأقل، ونستطيع في هذه الحالة استخدام الطريقة المعروفة بتعليمة `do` على النحو التالي:

```
do
    statement
while(expression);
```

ينبغي الانتباه على الفاصلة المنقوطة، فهي غير اختيارية. تضمن بهذه الطريقة تنفيذ التعليمة مرةً واحدةً على الأقل قبل تقييم التعبير. كان استخدام الكلمة المفتاحية `while` للاستخدامين السابقين خيارًا غير موفّقًا، لكن لا يبدو أن هناك الكثير من الأخطاء الناتجة عن ذلك.

فكّر طويلًا قبل استخدام التعليمة `do`، فعلى الرغم من أهميتها في بعض الحالات إلا أن استخدامها المفرط ينتج شيفرةً برمجيةً سيئة التصميم. هذا الأمر غير محقق في معظم الحالات، لكن يجب أن تتوقف وتسأل نفسك عن أهمية استخدام تعليمة `do` في كل حالة قبل استخدامها للتأكد من أن هذا هو الاستخدام الصحيح لها، إذ يدل استخدامها على تفكير غير مخطّط له وتوظيف وسائل تُستخدم في لغات أخرى، أو تصميمًا سيئًا ببساطة. عندما **تقتنع** بأهمية استخدامها دونًا عن أي وسيلة أخرى، فاستخدمها بحرص.

#### ا. اختصار عملية الإسناد والتحقق في تعبير واحد

يُعد استخدام نتيجة عملية الإسناد للتحكم بعمل حلقات `while` و `do` التكرارية حيلةً مستخدمةً **كثيرًا** في برامج سي C، وهي شائعة الاستخدام كثيرًا إذ سترغب بتعلُّمها إن صادفتها. تقع هذه الحيلة تحت تصنيف لغة سي "الاصطلاحية" واستخدامها طبيعيٌ وتلقائي لكل من يستخدم اللغة. إليك المثال الأكثر شيوعًا لاستخدامها:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

```

```
main(){
    int input_c;

    /* The Classic Bit */
    while( (input_c = getchar()) != EOF){
            printf("%c was read\n", input_c);
    }
    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 2.3]

تكمن الحيلة في تعبير إسناد input_c، إذ يُستخدم هذا التعبير في إسناد القيمة إلى المتغير وموازنته مع EOF (نهاية الملف End of File) والتحكم بعمل الحلقة التكرارية في آنٍ واحد. يُعد تضمين عملية الإسناد على هذا النحو تحسينًا عمليًا سهلًا، وعلى الرغم من كونها تختصر سطرًا واحدًا فقط إلا أن فائدتها في تسهيل عملية القراءة (بعد الاعتياد على استخدامها) كبيرة. لا بُد أيضًا من تعلُّم مكان استخدام الأقواس أيضًا، فهي مهمةٌ في تحديد الأسبقية.

لاحظ أن input_c من النوع int، وذلك لتمكين الدالة getchar من إعادة أي قيمة ممكنة لأي char إضافةً لقيمة EOF، ولهذا احتجنا لنوع أطول من char.

تُعد التعليمتان while و do وفق قواعد صياغة لغة سي تعليمةً واحدةً مثل تعليمة if، ويمكن استخدامهما في أي مكان يُمكن استخدام تعليمةٍ واحدةٍ فيه. ينبغي عليك استخدام تعليمة مركّبة إذا أردت التحكُّم **بعدّة** تعليمات، كما وضّحت أمثلة فقرة تعليمة if.

## 3.2.3 تعليمة for التكرارية

يعدّ استخدام الحلقات التكرارية والمتغيرات عدّاداتٍ لها ميزةً شائعةً في لغات البرمجة، إذ لا ينبغي للعداد أن يكون ذا قيمٍ متعاقبة حصرًا، والاستخدام الشائع له هو تهيئته خارج الحلقة وتفقُّد قيمته عند كل تكرار للتأكد من انتهاء الحلقة التكرارية وتحديث قيمته كل دورة. هناك ثلاث خصائص مهمة مرتبطة بتحكم الحلقة، هي: التهيئة initialize والتحقق check والتحديث update، كما هو موضح في المثال التالي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main(){
      int i;
```

```
        /* initialise التهيئة*/
        i = 0;
        /* check التحقق*/
        while(i <= 10){
                printf("%d\n", i);
                /* update التحديث*/
                i++;
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 3.3]

الأجزاء المرتبطة بعملية التهيئة والتحقق متقاربين كما تلاحظ، وموقعهما واضح بسبب استخدام الكلمة المفتاحية `while`، أما الجزء الأكثر صعوبةً لتحديده هو التحديث وبالأخص إذا استُخدمت قيمة المتغير الذي يتحكم بالحلقة داخلها؛ وفي هذه الحالة -الأكثر شيوعًا- يجب أن يكون التحديث في نهاية الحلقة، بعيدًا عن التهيئة والتحقق. يؤثر ذلك في سهولة القراءة بصورةٍ سلبية، إذ من الصعب فهم وظيفة الحلقة إلا بعد قراءة محتواها كاملًا بحرص. إذًا، نحن بحاجة إلى طريقة لجمع أجزاء التهيئة والتحقق والتحديث في مكانٍ واحد لنستطيع قراءتها بسرعة وسهولة، وهذا الغرض من تصميم تعليمة `for`، إذ تُكتب على النحو التالي:

```
for (initialize; check; update) statement
```

جزء **التهيئة** هو تعبير إسناد معظم الحالات، ويُستخدم لتهيئة المتحول الذي يتحكم بالحلقة. يأتي تعبير **التحقق** بعد التهيئة، إذ تُنفَّذ التعليمة داخل الحلقة إذا كان هذا التعبير ذو قيمةٍ غير صفرية، ويُتبع ذلك بتعبير **التحديث** الذي يزيد من قيمة المتغير المُتحكم (في معظم الحالات)، وتُعاد هذه العملية عند كل دورة، وتنتهي الحلقة التكرارية في حال كانت قيمة تعبير التحقق مساويةً الصفر.

هناك أمران مهمان يجب معرفتهما بخصوص الوصف السابق: الأول وهو أن كل جزء من أجزاء تعليمة حلقة `for` التكرارية الثلاث بين القوسين هو تعبير، الثاني وهو أن الشرح وصَفَ بحرص وظيفة الحلقة التكرارية for الأساسية دون ذكر أي استخدامات بديلة. يمكنك استخدام التعابير على النحو الذي تراه مناسبًا، لكن ذلك سيكون على حساب قابلية القراءة إذا لم تُستخدم للغرض المقصود منها.

إليك البرنامج التالي الذي ينجز المهمة ذاتها بطريقتين، الطريقة الأولى باستخدام حلقة `while` والطريقة الثانية باستخدام حلقة `for`، واستُخدام عامل الزيادة بالطريقة المعتادة التي يُستخدم بها في هذه الحلقات.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
```

```
main(){
	int i;

	i = 0;
	while(i <= 10){
		printf("%d\n", i);
		i++;
	}

	/* the same done using ``for'' */
	for(i = 0; i <= 10; i++){
		printf("%d\n", i);
	}
	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 4.3]

ليس هناك أي اختلاف بين الطريقتين، عدا أن استخدام الحلقة for مناسب وقابل للتعديل بصورةٍ أفضل من تعليمة while. حاول استخدام التعليمة for في معظم الحالات المناسبة، أي عندما تحتاج إلى حلقة يتحكم فيها عدّاد ما مثلًا؛ بينما يُعد استخدام حلقة while أنسب عندما يكون العدد الذي يتحكم في عدد الدورات جزءًا من عمل البرنامج. يتطلب الأمر تحكيمًا من كاتب البرنامج وفهمًا لشكل وتنسيق البرنامج المكتوب بطريقةٍ جيّدة، إذ لا يوجد أي دليل يقول أن زيادة هذه الخصائص ينعكس سلبًا على شركات كتابة البرمجيات، فتمرّن على هذه الأمور قدر الإمكان.

يمكن حذف وإهمال أيٍّ من أجزاء التهيئة والتحقق والتحديث في تعليمة for التكرارية، إلا أن الفواصل المنقوطة يجب أن تبقى، ويمكن اتباع هذا الأسلوب عندما يكون العداد مهيّأً مسبقًا أو يُحدّث بداخل متن الحلقة. إذا حُذف جزء تعبير التحقق، فهذا يعطينا نتيجةً افتراضيةً تتمثل بالقيمة "صحيح true" وهذا سيجعلها حلقةً لا نهائية. الطريقة الشائعة في كتابة حلقات تكرارية لا نهائية، هي:

```
for(;;)
```

أو

```
while(1)
```

يمكنك ملاحظة هذه التعليمات في بعض البرامج المكتوبة بلغة سي C.

### 3.2.4 أهمية تعليمات التحكم بالتدفق

يمكننا كتابة برامج بدرجات تعقيد متفاوتة باستخدام تعليمات التحكم بالتدفق، إذ تعد هذه التعليمات من صلب لغة C وستوضح قراءتك لبعض البرامج الأساسية في لغة C أهمية هذه التعليمات بما يخص تقديم الأدوات الأساسية وهيكلة البرامج. ستعطي التعليمات المتبقية التي سنذكرها للمبرمج تحكمًا أكبر بهذه الحلقات أو ربما ستساعده في بعض الحالات الاستثنائية. لا تحتاج تعليمة `switch` إلى أي شرح بخصوص أهمية استخدامها؛ فمن الممكن استبدالها بالعديد من تعليمات `if`، ولكنها تسهِّل قراءة البرنامج كثيرًا. يمكنك النظر إلى `break` و `continue` و `goto` على أنها بهارات لصلصةٍ حساسة المقادير، إذ يمكن لاستخدامها الحريص أن يجعل من هذه الصلصة أكلةً لذيذة، وبالمقابل سيجعل الاستخدام المفرط لها طعم الصلصة مشتّتًا وضائعًا.

### 3.2.5 تعليمة switch

يمكنك الاستغناء عن هذه التعليمة، فهي ليست جزءً أساسيًّا من لغة سي C، لكن استخدامك لها سيجعل اللغة أقلّ تعبيرًا ومتعةً للاستخدام؛ إذ تُستخدم هذه التعليمة لاختيار عددٍ من الإجراءات المختلفة حسب قيمة تعبيرٍ ما، وتجعل من تعليمة `break` تعليمةً مستخدمةً كثيرًا ضمنها، إذ تُكتب على النحو التالي:

```
switch (expression){
case const1:    statements
case const2:    statements
default:        statements
}
```

تُقدَّر قيمة **التعبير expression** وتُوازن قيمته مع جميع تعابير **const1** و**const2** إلى آخره، والتي تكون قيمها مختلفة (من نوع **تعابير أعداد صحيحة ثابتة** حصرًا، راجع الفصل السادس وما يليه لمزيدٍ من الشرح)؛ فإذا تساوت القيمة مع قيمة **التعبير**، تُنفّذ التعليمة التي تتبع الكلمة المفتاحية `case`؛ وتُنفَّذ الحالة الافتراضية التابعة للكلمة المفتاحية `default` -إن وجدت- في حال عدم وجود أي قيمة مكافئة؛ وإن لم تتواجد هذه الكلمة المفتاحية (ولم تتواجد أي قيمة مكافئة)، فلن تنفِّذ التعليمة `switch` أي شيء وسيتابع البرنامج تنفيذ التعليمة التالية.

من الميزات المثيرة للاهتمام هي أن الحالات **ليست** استثنائية، كما هو موضح في المثال التالي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){
      int i;
      for(i = 0; i <= 10; i++){
```

```
                switch(i){
                        case 1:
                        case 2:
                                printf("1 or 2\n");
                        case 7:
                                printf("7\n");
                        default:
                                printf("default\n");
                }
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 5.3]

تتكرّر الحلقة بحسب قيمة `i`، إذ تأخذ قيمًا من `0` إلى `10`، تتسبب قيمة `1` أو `2` بطباعة الرسالة "1or 2" عن طريق تنفيذ تعليمة `printf` الأولى. وما قد يفاجئك هنا هو طباعة الرسائل التي تليها أيضًا، لأن تعليمة `switch` تختار نقطة دخول واحدة إلى متن التعليمة، فبعد البدء في نقطة معينة، تُنفّذ جميع التعليمات التي تليها. تُستخدم عناوين `case` و `default` ببساطة لتحديد **أي من** التعليمات التي سيقع عليها الاختيار. عندما تكون قيمة `i` مساويةً للقيمة `7`، ستُطبع الرسالتان الأخيرتان فقط، وأي قيمة لا تساوي إلى `1` أو `2` أو `7` ستتسبّب بطباعة الرسالة الأخيرة فقط.

يمكن أن تُكتب العناوين labels بأي ترتيب كان، لكن لا يجب أن تتكرر أي قيمة ويمكنك استخدام عنوان `default` واحد فقط أو الاستغناء عنه، وليس من الضروري أن يكون العنوان الأخير، كما يمكن وضع تعليمةٍ واحدةٍ لعدّة عناوين أو عدّة تعليمات لعنوان واحد.

يمكن أن يكون التعبير الذي يتحكم بتعليمة `switch` من أي نوع عدد صحيح. كانت لغة سي C القديمة تقبل نوع `int` **فقط**، واقتطعت المصرفات قسريًّا الأنواع الأطول مما تسبب ببعض الأخطاء الغامضة بعض الأحيان.

## ا. أكبر قيود تعليمة Switch

تكمن المشكلة الأكبر بخصوص تعليمة `switch` في عدم إمكانية تحديد أجزاء معينة من التعليمات بصورةٍ استثنائية، إذ تنفَّذ جميع التعليمات الموجود بداخل تعليمة `switch` التي تلي التعليمة المُنفذة على نحوٍ متعاقب، والحل هنا هو استخدام تعليمة `break`. ألقِ نظرةً على المثال السابق المُعدّل بحيث لا تُطبع الرسائل تباعًا بعد طباعة حالة ما، إذ تتسبب التعليمة `break` بمغادرة تنفيذ تعليمة `switch` مباشرةً وتمنع تنفيذ أي تعليمات أخرى ضمنها.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main(){
	int i;
	for(i = 0; i <= 10; i++){
		switch(i){
			case 1:
			case 2:
				printf("1 or 2\n");
				break;
			case 7:
				printf("7\n");
				break;
			default:
				printf("default\n");
		}
	}
	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 6.3]

يوجد مزيدٌ من الاستخدامات لتعليمة break سنتكلم عنها في فقرتها الخاصة.

### ب. تعبير العدد الصحيح الثابت

سنتكلم لاحقًا عن التعابير الثابتة، ولكن من المهم التطرق إلى طبيعة تعبير العدد الصحيح الثابت كونه التعبير الذي يجب أن تُلحقه بعنوان case في تعليمة switch. عمومًا، لا يحتوي تعبير العدد الصحيح الثابت أي عوامل تغيِّر من قيمته، مثل عامل الزيادة أو الإسناد، أو استدعاءٍ للدوال أو عوامل الفاصلة، ويجب أن تكون جميع المُعاملات في التعبير ثوابت صحيحة وثوابت محرفية وثوابت تعداد enumeration constants وتعابير sizeof وثوابت الفاصلة العائمة وهي المُعاملات المباشرة لمحوّلات النوع casts، كما يجب أن تكون أنواع العدد الصحيح هي الأنواع الناتجة عن أي مُعامل محوِّلٍ للنوع، وجميع هذه القيم يمكن أن تتوقعها بكونها تحت تصنيف تعبير العدد الصحيح الثابت.

## 3.2.6 تعليمة break

هذه التعليمة بسيطة، ويمكن فهمها في سياق استخدامها ضمن تعليمة switch، أو do، أو while، أو for، إذ يقفز تدفق البرنامج عند استخدامها إلى التعليمة التالية خارج متن التعليمة الحالية التي تتضمن تعليمة

break؛ وتُستخدم كثيرًا في تعليمات switch، إذ إنها ضرورية بطريقةٍ أو بأخرى للحصول على التحكم الذي يحتاجه معظم الناس.

استخدام تعليمة break بداخل الحلقات التكرارية استخدامٌ غير محبّذ بحسب الحالة، إذ إنه مبرّر عند حدوث ظروف استثنائية بداخل الحلقة مما يتطلب مغادرتها. من الجيد أن نستطيع مغادرة عدة حلقات دفعةً واحدة باستخدام تعليمة break واحدة فقط، لكن هذا غير محقّق. ألقِ نظرةً على المثال التالي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main(){
	int i;

	for(i = 0; i < 10000; i++){
		if(getchar() == 's')
			break;
		printf("%d\n", i);
	}
	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 7.3]

يقرأ البرنامج السابق محرفًا وحيدًا من الدخل قبل طباعة قيمة i وفق سلسلةٍ من الأعداد، وتتسبب تعليمة break بالخروج من الحلقة في حال إدخال المحرف s.

يُعد استخدام break خيارًا خاطئًا إذا أردت الخروج من عدة مستويات من الحلقات، إذ أن استخدام goto هو الطريقة السهلة الوحيدة لكن سنتركها إلى النهاية بما أن ذكرها يتطلب وجود ذكر أشياء أخرى قبلها.

### 3.2.7 تعليمة continue

يوجد لهذه التعليمة عددٌ محدودٌ من حالات الاستخدام، وقواعد استخدامها مطابقةٌ لقواعد استخدام break عدا أنها لا تُطبَّق في تعليمات switch. يبدأ التكرار التالي لأصغر تعليمة (أقلها مستوى) سواء كانت do، أو while، أو for فور تنفيذ تعليمة continue، ويقتصر استخدامها في بداية الحلقات حيث يجب اتخاذ قرار بشأن تنفيذ بقية متن الحلقة أم لا. تَضمَن تعليمة continue في المثال التالي عدم تنفيذ القسمة على صفر، والتي تتسبب بسلوك غير محدد.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
```

```c
main(){
	int i;

	for(i = -10; i < 10; i++){
		if(i == 0)
			continue;
		printf("%f\n", 15.0/i);
		/*
		 * Lots of other statements .....
		 */
	}
	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 8.3]

قد تنظر إلى التعليمة `continue` بكونها غير ضرورية، وأنه ينبغي أن يكون تنفيذ متن الحلقة شرطيًّا بدلًا من ذلك، لكنك لن تجد الكثير من المؤيدين لرأيك، إذ يفضِّل معظم مبرمجو لغة سي C استخدام `continue` بدلًا من استخدام مستوًى إضافي من المسافات لتضمين جزءٍ معين من الحلقة وبالأخص إن كان كبيرًا. يمكنك طبعًا استخدام `continue` في أجزاء أخرى من الحلقة، بهدف تبسيط منطق الشيفرة وتحسين قابلية قراءتها، ولكن لا بُد من استخدامها باعتدال.

أبقِ في بالك أن التعليمة `continue` ليس لها أي معنًى داخل تعليمة `switch` على عكس `break`، إذ أن استخدام `continue` بداخل `switch` ذو قيمةٍ فقط في حالة وجود حلقة تكرارية تحتوي `switch`، وفي هذه الحالة يبدأ التكرار التالي من الحلقة عند تنفيذ `continue`.

هناك فرقٌ مهمٌ بين الحلقات التكرارية المكتوبة باستخدام `while` و `for`؛ ففي حلقات `while` وعند استخدام `continue` يقفز التنفيذ إلى فحص قيمة التعبير التي تتحكم بالحلقة؛ بينما تُنفذ تعليمة التحديث وتعبير التحكم في حالة `for`.

### 3.2.8 تعليمة goto والعناوين labels

يعرف الجميع أن استخدام تعليمة `goto` هو "تصرف سيء"، إذ أنها تجعل برنامجك صعب المتابعة والقراءة، وتشتِّت هيكله وتدفقه إذا استُخدمت من دون عناية. كتبت مجموعة دكسترا Dijkstra ورقةً شهيرةً في 1968 باسم "تعليمة Goto مُضرة Goto Statement Considered Harmful" التي يذكرها الجميع ولكن لم يقرأها أي أحد.

الشيء الأكثر إزعاجًا هـو عنـدما يكـون اسـتخدامها في بعض الحـالات ضـروريًّا للغايـة، إذ تُسـتخدم في لغة سي C للخروج من عدة حلقات تكرارية متداخلـة أو للانتقـال إلى مخـرج للتعامـل مـع الأخطـاء في نهايـة الدالـة، وستحتاج لاستخدام **عنوان label** عندما تقرر استخدام `goto`، ويوضح المثال التالي استخدامهما:

```
goto L1;
/* whatever you like here */
L1: /* anything else */
```

العنوان هو معرّفٌ متبوعٌ بنقطتين، ويوجد للعناوين "مجال أسماء namespace" خاص بهم لتجنب الخلـط بينهم وبين أسماء المتغيرات والدوال. مجال الأسماء هذا متواجدٌ فقط بداخل الدالة التي تحتويه، لـذلك يمكنـك إعادة استخدام أسماء العناوين في دوال مختلفة، كما يُمكن للعنـوان أن يُسـتخدم قبـل التصـريح عنـه أيضًـا عن طريق ذكره ضمن تعليمة `goto` ببساطة.

**يجب** أن تكون العناوين جزءًا من تعليمةٍ كاملة، حتى لو كانت فارغة، وعادة ما يكون هذا مهمًـا فقـط عنـدما تحاول وضع عنوان في نهاية التعليمة المركبة على النحو التالي:

```
label_at_end: ; /* empty statement */
}
```

تعمل `goto` بطريقة واضحة، إذ تنتقل إلى التعليمة المعنونة، ولأن اسم العنوان مرئي فقط من داخل الدالـة التي تحتويه فمن غير الممكن الانتقال من دالةٍ إلى دالةٍ أخرى.

من الصـعب إعطـاء قـوانين صـارمة حـول اسـتخدام تعليمـة `goto` ولكن على نحـوٍ مشـابه لتعليمـات `do` و `continue` و `break` (عدا وجودها في تعليمة `switch`)، فإن الاستخدام المفرط لها غـير محبـذ. فكّـر طـويلًا قبل استخداماها وليكن استخدامها بالنسبة لهيكليـة البرنـامج مقنعًـا، إذ اسـتخدامك لتعليمـة `goto` كـل 3 أو 5 دوال يدل على مشكلة ويجب أن تجد طريقةً مختلفة لكتابة برنامجك.

## 3.2.9 خلاصة

الآن وبعد استعراضنا لتعليمـات التحكم بتـدفق البرنـامج المختلفـة ورأينـا أمثلـةً عن اسـتخدامها، يجب أن تستخدم بعضـها في أي فرصـة تُتـاح لـك، بينمـا يُسـتخدم بعضـها الآخـر لأغـراض خاصـة ولا يجب الإفـراط في استخدامها. يجعل الانتباه إلى استخدام التعليمات برامجـك المكتوبـة بلغـة سـي C أنيقـة، إذ تعطيـك تعليمـات التحكم بالتدفق المخصصة الفرصة لإضافة خصائص غير موجودة في بعض اللغات الأخرى.

وبذلك يبقى التكلُّم عن العوامل المنطقية كل ما تبقى للانتهـاء من جـانب التحكم بتـدفق البرنـامج في لغـة سي C.

## 3.3 عوامل منطقية أخرى

وضحنا سابقًا كيف أن لغة سي C لا تميّز بين القيم "المنطقية" والقيم الأخرى، إذ تعطي المُعاملات العلاقيّة relational operators نتيجة متمثلةً بالقيمة 0 للخطأ، أو 1 للصواب. وتُقيّم قيمة تعبير منطقي لتحديد ما إذا كانت تعليمة تحكم بتدفق البرنامج ستنفّذ أم لا، إذ تعني القيمة 0 "لا تنفِّذ" وأي قيمة أخرى تعني "نفِّذ". تُعد جميع الأمثلة التالية تعابير منطقية صالحة:

```
while (a<b)...
while (a)....
if ( (c=getchar()) != EOF )...
```

`while (a)` لن يتفاجأ أي مبرمج لغة سي متمرس بأي تعبير من التعابير السابقة، إذ يمثّل التعبير الثاني اختصارًا شائعًا للتعبير `while (a != 0)` (على الأغلب استنتجت معناه ضمنيًّا).

نحتاج الآن إلى طريقةٍ تمكّننا من كتابة تعابير أكثر تعقيدًا باستخدام هذه القيم المنطقية "خطأ وصواب"، إذ استخدمنا حتى الآن الطريقة التالية لكتابة التعبير الذي يعطينا `if(a<b AND c<d)`، إلا أن هناك طريقةٌ أخرى لكتابة التعليمة.

```
if (a < b){
      if (c < d)...
}
```

هناك ثلاثة عوامل مشاركة في هذا النوع من العمليات، هي: العامل المنطقي AND أو "&&" والعامل المنطقي OR أو "||" والعامل NOT أو "!"، إذ يُعد العامل الأخير عاملًا أحاديًا، أما العاملان الآخران فهما ثنائيان. تستخدِم هذه العوامل تعابيرًا مثل مُعاملات وتعطي نتيجةً مساويةً إلى "1" أو "0"؛ إذ يعطي العامل "&&" القيمة "1" فقط في حال كانت قيمة المُعاملان غير صفرية؛ ويعطي "||" القيمة "0" فقط في حال كانت قيمة المُعاملان صفر؛ بينما يعطي "!" القيمة صفر إذا كانت قيمة المُعامل غير صفرية وبالعكس، فالأمر بسيطٌ للغاية، وتكون نتيجة العوامل الثلاث من النوع "int".

لا تخلط عوامل العمليات الثنائية bitwise operators "|" و"&" مع عواملها المنطقية المشابهة، فهي مختلفةٌ عن بعضها البعض؛ إذ أن للعوامل المنطقية ميزةٌ لا نجدها في العوامل الأخرى، ألا وهي تأثيرها على عملية تقييم التعبير، إذ تُقيّم من اليسار إلى اليمين بعد أخذ الأسبقية في الحسبان، ويتوقف أي تعبير منطقي عن عملية التقييم عند التوصُّل إلى قيمة التعبير النهائية. على سبيل المثال، تتوقف سلسلة من عوامل "||" عن التقييم حالما تجد مُعاملًا ذا قيمةٍ غير صفرية. يوضِّح المثالين التاليين تعبيرين منطقيين يمنعان القسمة على صفر.

```
if (a!=0 && b/a > 5)...
/* alternative */
if (a && b/a > 5)
```

ستُقيَّم قيمة b/a في كلا الحالتين فقط في حالة كون قيمة a غير صفرية؛ وفي حال كانت a مساويةً الصفر، ستُقيّم قيمة التعبير فورًا، وبذلك ستتوقف عملية تقييم التعبير وفق قوانين لغة سي C للعوامل المنطقية.

عامل النفي الأحادي NOT بسيط، لكن استخدامه غير شائع جدًا نظرًا لإمكانية كتابة معظم التعبيرات دون استخدامه، كما توضح الأمثلة التالية:

```
 if (!a)...
/* alternative */
if (a==0)...

if(!(a>b))
/* alternative */
if(a <= b)

if (!(a>b && c<d))...
/* alternative */
if (a<=b || c>=d)...
```

توضح الأمثلة السابقة مع بدائلها طريقةً لتجنُّب أو على الأقل الاستغناء عن استخدام العامل !. في الحقيقة، يُستخدم هذا العامل بهدف تسهيل قراءة التعبير، فإذا كانت المشكلة التي تحلّها تستخدم علاقة منطقية مثل العلاقة "(b*b-4*a*c) > 0" الموجودة في حل المعادلات التربيعية، فمن الأفضل كتابتها بالطريقة:

```
( !((b*b-4*a*c) > 0))
```

بدلًا من كتابتها بالطريقة:

```
if( (b*b-4*a*c) <= 0)
```

لكن التعبيران يؤديان الغرض ذاته، فاختر الطريقة التي تناسبك.

تعمل معظم التعابير التي تستخدم العوامل المنطقية وفق قوانين الأسبقية الاعتيادية، لكن الأمر لا يخلو من بعض المفاجآت، فإذا أخذت نظرةً أخرى على جدول الأسبقية، فستجد أن هناك بعض العوامل في مستوى أسبقية أقل موازنةً بالعوامل المنطقية، ويسبب ذلك خطأ شائعًا:

```
if(a&b == c){...
```

إذ تُـوازَن b بالمسـاواة مـع c أولًا في هـذه الحالـة، ومن ثم تُضـاف القيمـة إلى a سـواءٌ كـانت 0 أو 1، ممـا يتسبب بسلوك غير متوقع للبرنامج بسبب هذا الخطأ.

## 3.4 عوامل غريبة

تبقَّى عاملان لم نتكلم عنهما بعد، ويتميزان بشكلهما الغريب، إذ لا تُعد هذه العوامل "أساسية"، لكنها تُستخدم من حينٍ إلى آخر، فلا تتجاهلهما كليًّا، وستكون هذه الفقرة الوحيدة التي سنتكلم فيها عنهما، إذ سيتضمن الشرح سلوكهما عند مزجهما مع أنواع المؤشر، مما يوحي أنهما معقدَين أكثر من اللازم.

### 3.4.1 عامل الشرط ?:

كما هو الحال في عزف آلة الأكورديون، سيكون من الأسهل النظر إلى كيفية عمل هذا العامل بدلًا من وصفه.

```
expression1?expression2:expression3
```

إذا كان التعبير `expression1` صحيحًا، فهذا يعني أن قيمة التعبير بالكامل هي من قيمة التعبير `expression2`، وإلا فهي قيمة التعبير `expression3`، إذ ستُقيَّم قيمة واحدٍ من التعبيرين حسب قيمة التعبير `expression1`.

تُعد أنواع البيانات المختلفة المسموح استخدامها في التعبير `expression2` و `expression3` والأنواع الناتجة عن التعبير بالكامل معقدة، والسبب في هذا التعقيد هو بعض الأنواع والمفاهيم التي لم نشرحها بعد. سنشرح هذه النقاط في الأسفل، لكن كن صبورًا بخصوص بعض المفاهيم التي سنشرحها لاحقًا.

أبسط حالة ممكنة هي حالة تعبير بأنواع حسابية (أعداد صحيحة أو حقيقية)، إذ تُطبَّق في هذه الحالة التحويلات الحسابية لإيجاد نوع مشترك لكلا التعبيرين، وهو نوع النتيجة. لنأخذ المثال التالي:

```
a>b?1:3.5
```

يحتوي المثال الثابت `1` من النوع `int` والثابت `3.5` من النوع `double`، وبتطبيق قوانين التحويل الحسابية نحصل على نتيجة النوع `double`.

هناك بعض الحالات المسموحة أيضًا، هي:

- إذا كان المُعاملان من نوع ذا هيكلية structure أو اتحاد union متوافق، فالنتيجة هي من هذا النوع.
- إذا كان المُعاملان من نوع "void"، فالنتيجة هي من هذا النوع.

ويمكن مزج عدة أنواع مؤشرات على النحو التالي:

- يمكن للمُعاملين أن يكونا من أنواع مؤشرات متوافقة (من المحتمل أن تكون **مُؤهلة qualified**).
- يمكن لمُعامل أن يكون مؤشرًا والمُعامل الآخر **مؤشر ثابت فارغ Null pointer constant**.
- يمكن لمُعامل أن يكون **مؤشرًا لكائن pointer to an object** أو **نوع غير مكتمل incomplete type** والمُعامل الآخر مؤشر إلى نوع "void" (من المحتمل أن يكون **مُؤهل**).

لمعرفة النوع الناتج عن التعبير عند استخدام المؤشرات نتبع الخطوتين:

1. إذا كان أيٌّ من المُعاملَين مؤشرًا إلى نوع قيمة مؤهلة، فستكون النتيجة مؤشرًا إلى نوع مؤهل من جميع المؤهِّلات في كلا المُعاملين.
2. إذا كان أحد المُعاملات مؤشر ثابت فارغ، فستكون النتيجة هي نوع المُعامل الآخر؛ فإذا كان أحد المُعاملات يؤشر إلى الفراغ، سيُحوَّل المُعامل الآخر إلى مؤشر إلى "void" وسيكون هذا نوع النتيجة؛ أما إذا كان كلا المُعاملات مؤشرات من أنواع متوافقة (بتجاهل أي مؤهلات) فالنوع الناتج هو من **نوع مركب composite type**.

سنناقش كلًا من المؤهّلات والأنواع المركبة والمتوافقة في الفصول القادمة.

نلاحظ استخدام هذا العامل في المثال البسيط أدناه، الذي يختار السلسلة النصية لطباعتها باستخدام الدالة `printf`:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){
	int i;

	for(i=0; i <= 10; i++){
		printf((i&1) ? "odd\n" : "even\n");
	}
	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 10.3]

يُعد هذا العامل جيدًا عندما تحتاجه، مع أن بعض الناس يشعرون بالغرابة عندما يرونه للمرة الأولى إلا أنهم سرعان ما يبدؤون باستخدامه.

بعد الانتهاء من تقييم قيمة المُعامل الأول، هناك مرحلة **نقاط التسلسل sequence points** التي سنشرحها لاحقًا.

### 3.4.2 عامل الفاصلة

يربح هذا العامل جائزة "أكثر العوامل غرابةً"، إذ يسمح لك بإنشاء قائمة طويلة من التعابير المفصول بينها بالفاصلة:

```
expression-1,expression-2,expression-3,...,expression-n
```

يمكنك استخدام أي عدد من التعابير، وتُقيّم **التعابير** من اليسار إلى اليمين حصرًا وتُهمل قيمها، عدا التعبير الأخير الذي يحدد قيمة ونوع التعبير كاملًا. لا تخلط هذه الفاصلة مع الفواصل المستخدمة في لغة سي C لأغراض أخرى، بالأخص الفواصل المُستخدمة للفصل بين وسطاء الدالة. إليك عدة أمثلة لاستخدام هذا العامل:

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){
      int i, j;

      /* comma used - this loop has two counters */
      for(i=0, j=0; i <= 10; i++, j = i*i){
            printf("i %d j %d\n", i, j);
      }

      /*
       * In this futile example, all but the last
       * constant value is discarded.
       * Note use of parentheses to force a comma
       * expression in a function call.
       */
      printf("Overall: %d\n", ("abc", 1.2e6, 4*3+2));
      exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 11.3]

عامل الفاصلة مُتجاهل أيضًا، إلا إذا أردت تجربة هذه الميزة واستخدامها شخصيًّا، لذلك لن تراها إلا في بعض المناسبات الخاصة.

بعد تقييم كل مُعامل، تأتي مرحلة **نقاط التسلسل sequence points** التي سنشرحها لاحقًا.

## 3.5 خاتمة

استعرضنا في هذا الفصل جميع أدوات التحكم بتدفق البرنامج المتاحة في لغة سي C، وكانت النقاط المُفاجئة في هذا الفصل، هي كيفية عمل حالات تعليمة `switch` بصورةٍ منفردة وغير معتمدة على بعضها بعضًا، وعدم إمكانية تعليمة `goto` الانتقال إلى أي نقطة في دالةٍ أخرى عدا الدالة الموجودة فيه، وهذه النقاط غير معقدة للغاية ولا تسبب عادةً أي مشاكل سواءٌ للمبتدئين أو مبرمجي لغات أخرى.

تعطي جميع التعابير المنطقية قيمة عدد صحيح دائمًا، ولربما يكون هذا خارج عن العادة بعض الشيء لكنه لن يستغرق الكثير من الوقت للاعتياد عليه.

لعل الأجزاء الأكثر غرابةً في هذا الفصل هي طريقة العامل الشرطي ":?" وعامل الفاصلة، إذ قد يعتقد البعض أن التخلُّص من العامل الشرطي أمرٌ ممكن لأنه غير مناسب ومتوافق لشيفرة برمجية مكتوبة مسبقًا، لكن لعامل الفاصلة استخدامات مهمة، وبالأخص المولّدات التلقائية لبرامج لغة سي C.

لم يؤثر المعيار كثيرًا على النقاط المذكورة في هذا الفصل. وينبغي أن يتأكد جميع مستخدمو لغة سي C المستقبليين من فهمهم لجميع المواضيع المذكورة (باستثناء العامل الشرطي وعامل الفاصلة)، إذ إنها ضروريةٌ للاستخدام العملي للغة وغير صعبة.

## 3.6 تمارين

1. ما هو النوع والقيمة الناتجة عن العوامل العلاقيّة؟
2. ما هو النوع والقيمة الناتجة عن العوامل المنطقية ("&&" و"||" و"!")؟
3. ما هو الشيء غير الاعتيادي بشأن العوامل المنطقية؟
4. ما هي فائدة `break` في تعليمات `switch`؟
5. لماذا تُعد تعليمة `continue` غير مفيدة في تعليمات `switch`؟
6. ما هي المشاكل المحتملة الناتجة عن استخدام `continue` في تعليمة `while`؟
7. كيف يمكنك الانتقال من دالةٍ إلى أخرى؟

# خمسات

لبيع وشراء الخدمات المصغرة

أكبر سوق عربي لبيع وشراء الخدمات المصغرة
اعرض خدماتك أو احصل على ما تريد بأسعار تبدأ من $5 فقط

تصفح الخدمات

# 4. الدوال Functions

تكلّمنا سابقًا عن أهمية الدوال في لغة سي C وكيف أنها تشكّل اللبنة الأساسية لـبرامج سـي. إذًا، ليس من المُستغرب أن نخصص هذا الفصل بالكامل للتعريف عنها وعن استخدامها، إذ سنطرّق إلى كيفية التصريح عنهـا واستخدامها بالإضافة إلى أنواع وسطائها وبعض الأمثلة العملية.

## 4.1 ما التغييرات التي طرأت على لغة سي المعيارية بخصوص الدوال؟

كانت أسوأ ميزة في لغة سي القديمة هي عدم إمكانية التصـريح عن عـدد وأنـواع وسـطاء الدالـة، إذ لم يكن ممكنًا للمصرّف compiler حينها أن يتحقق من صـحة اسـتخدام الدالـة ضـمن البرنـامج وفـق تصـريحها، وعلى الرغم من أنها لم تؤثر على نجاح لغة سي، إلا إنها تسببت بمشاكل تخص قابلية نقل البرنامج وصيانته الـتي كـان من الممكن تفاديها جميعًا.

غيّرت لغة سي المعيارية من ذلك بقدومها، إذ أصبح من الممكن الآن التصـريح عن الـدوال بطريقـة تسـمح للمصرف بالتحقق من صحة استخدامها، وهذه الطريقة الجديدة متوافقة كثيرًا مع الطريقة القديمة، لـذا سـتعمل البرامج المكتوبة بلغة سي القديمة دون أي أخطاء، شرط ألا يحتوي البرنامج طبعًا على أخطاء. يُعد اسـتخدام عـدة متغيرات على أنها وسطاء عند اسـتخدام الدالـة مـيزةً أخـرى مفيـدة مثـل اسـتخدام الدالـة `printf` الـتي اعتـاد استخدامها أن يكون غير قابل للنقل، وكانت الطريقة الوحيـدة الـتي يمكن اسـتخدامها لتصـبح قابلـة للنقـل هي بالاعتماد على معرفة عميقة بالعتاد الصلب.

أخذت لغة سي المعيارية الحل لهذه المشاكل من لغة C++، إذ سبق لها وطبّقت هذه الأفكـار بنجـاح، كمـا تبنّت العديد من مصرّفات لغة سي القديمة هذه الحلول من C المعيارية نظرًا لنجاحها.

ستظل لغة سي المعيارية متوافقةً مع طريقة تصريح الدوال في سي القديمة بهدف الإبقاء على صحة عمل البرامج السابقة فحسب، ويجب على أي برنامج يُكتب من جديد استخدام هذه الطريقة الجديدة الأكثر صرامةً التي قدمتها سي المعيارية وتفادي طريقة لغة سي القديمة بشدة، والتي ستندثر في المستقبل على الأرجح.

## 4.2 أنواع الدوال

تمتلك جميع الدوال نوعًا ما، والذي يكون هو نوع القيمة التي تُعيدها عند استخدامها. السبب في عدم احتواء لغة سي على "إجراءات procedures"، والتي هي في معظم اللغات دوال بدون قيمة، هو أنها تسمح بصورةٍ إجبارية في بعض الأحيان بتجاهل القيمة النهائية لمعظم التعابير، وإن فاجأك ذلك تذكر تعبير الإسناد التالي:

```
a = 1;
```

الإسناد السابق صالح ويعيد قيمةً ما، لكن القيمة تُهمل. إذا أردت مفاجأةً أكبر من السابقة، جرِّب التعبير التالي:

```
1;
```

إذ إنه تعبيرٌ متبوعٌ بفاصلةٍ منقوطة، وهذه تعليمةٌ صالحةٌ وفق قواعد اللغة ولا يوجد أي خطأ فيها، ولكنها عديمة الفائدة. يمكنك التفكير بخصوص الدالة التي تُستخدم مثل إجراء بنفس الطريقة، إذ إنها تُعيد قيمةً **دائمًا** لكنها لا تُستخدم:

```
f(argument);
```

التعبير السابق هو تعبير ذو قيمةٍ مُهملة.

من السهل فهم نقطة أن القيمة المُعادة من الدالة يمكن إهمالها، لكن هذا يعني أن عدم استخدام القيمة المُعادة هو خطأ برمجي، وعلى العكس تمامًا إن لم يكن هناك أي قيمة مفيدة مُعادة من الدالة، إذًا من الأفضل أن يكون لدينا القدرة على مراقبة فيما إذا كانت القيمة مُستخدمةً عن طريق الخطأ، وللسببين السابقين، يجب التصريح عن أي دالة بكونها لا تعيد أي قيمة مفيدة بالنوع `void`.

يمكن أن تُعيد الدوال أي نوع مدعوم من لغة سي C عدا المصفوفات arrays والدوال بحد ذاتها، وهذا يتضمن المؤشرات pointers والبُنى structures والاتحادات unions، وسنتكلم عنهم لاحقًا. يمكننا التحايل على الأنواع التي لا يُمكن إعادتها من الدوال باستخدام المؤشرات بدلًا منها، كما يمكن استدعاء جميع الدوال تعاوديًّا recursively.

### 4.2.1 التصريح عن الدوال

علينا الآن للأسف تقديم بعض المصطلحات بهدف التقليل من النص الوصفي المتكرر بعد ذكر كل مصطلح برمجي للوصول إلى نتيجة أقصر وأكثر دقة دون أي تشويش للقارئ، إليك المصطلحات:

- **التصريح declaration**: نذكر فيه النوع type الذي يرتبط باسم ما.
- **التعريف definition**: يماثل التصريح، لكنه يحجز أيضًا مساحة تخزينية للكائن المذكور، وقد تكون القواعد التي تفصل بين التصريح والتعريف معقدة، لكن الأمر بسيط بالنسبة للدوال؛ إذ يصبح التصريح تعريفًا عندما يُضاف محتوى الدالة على أنه تعليمةٌ مُركّبة compound statement.
- **المُعاملات parameters والمعاملات الصوريّة formal parameters**: الأسماء التي تُشير إلى الوسطاء بداخل الدالة.
- **الوسطاء arguments والوسطاء الفعلية actual arguments**: القيم المُستخدمة مثل وسطاء في دالة ما، أي قيم المُعاملات الصوريّة عند تنفيذ الدالة.

يُستخدم المصطلحان "مُعامل" و"وسيط" على نحوٍ تبادلي، لذا لا تتساءل عن سبب استخدامنا لمصطلح عن الآخر في الفقرات القادمة.

تُصرّح الدالة ضمنيًا على أنها "تُعيد قيمة من نوع `int`"، إذا استخدمتها قبل التصريح عنها، ولكن تعد هذه من الممارسات الخاطئة في لغة سي المعيارية، على الرغم من استخدام هذه الطريقة على نحوٍ واسع في لغة سي القديمة؛ إذ يؤدي استخدام الدوال دون التصريح عنها إلى مشاكل معقدة مرتبطة بعدد ونوع الوسطاء المُتوقّعة، ويجب أن يُصرّح عن الدوال بصورةٍ كاملة قبل استخدامها. على سبيل المثال، إذا أردت استخدام دالة موجودة في مكتبة خاصة، لا تأخذ أي وسطاء، وتعيد القيمة `double`، وتسمى `aax1`، فعليك التصريح عنها كما يلي:

```
double aax1(void);
```

وإليك مثالًا عن استخدامها الخاطئ:

```
main(){
      double return_v, aax1(void);
      return_v = aax1();
      exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 1]

التصريح في المثال السابق مثير للاهتمام، إذ عرّفنا `return_v` مما تسبب بإنشاء متغيرٍ جديد، كما صرّحنا عن `aax1` دون تعريفها، إذ أن الدوال تُعرّف فقط في حالة وجود متن الدالة، كما ذكرنا سابقًا، وفي هذه الحالة يُفترض أن تُعيد الدالة `aax1` النوع `int` ضمنيًّا مع أنها تعيد النوع `double`، مما يعني أن ذلك سيتسبب بتصرف غير محدد، وهو أمر كارثي دائمًا.

يوضِّح وجود النوع `void` ضمن لائحة الوسطاء عند التصريح بأن الدالة لا تقبل أي وسيط، وإن كانت مفقودةً من لائحة الوسطاء فلن يترك التصريح أي معلومات عن وسطاء الدالة، وبهذه الطريقة نحافظ على التوافقية مع لغة سي C القديمة على حساب قدرة المصرّف على التحقق.

ينبغي كتابة متن للدالة مثل تعليمةٍ مركّبة حتى **تعرّفها**، إذ لا يمكن لتعريف دالةٍ ما أن يكون محتوًى بتعريف دالةٍ أخرى. ونتيجةً لذلك، جميع الدوال مستقلةٌ عن بعضها بعضًا وموجودةٌ في المستوى الخارجي لهيكل البرنامج. يوضح التعريف التالي طريقةً ممكنةً للتعريف عن الدالة `aax1`:

```
double
 aax1(void) {
        /*متن الدالة هنا*/
        return (1.0);
 }
```

من غير الاعتيادي أن تمنعك لغةٌ تعتمد على الهيكلية الكُتلية عن تعريف الدوال داخل دوالٍ أخرى، ولكن هذه سمةٌ من سمات لغة سي C، ويساعد ذلك على تحسين الأداء وقت التنفيذ run-time للغة سي، لأنه يقلل المهام المطلوبة المتعلقة بتنظيم استدعاء الدوال.

### 4.2.2 تعليمة الإعادة return

تُعد تعليمة `return` مهمةً للغاية، إذ تستخدمها جميع الدوال -عدا التي تُعيد `void`- مرةً واحدةً على الأقل، وتوضِّح التعليمة `return` عند ذكرها القيمة التي يجب أن تُعيدها. من الممكن أن نعيد قيمةً من دالةٍ ما عن طريق وضع `return` في نهاية الدالة قبل القوس المعقوص الأخير "}"؛ إلا أن هذا الأمر سيتسبب بتصرف غير محدد عند استخدامها في دالة تُعيد `void`، إذ ستُعاد قيمةٌ غير معروفة.

إليك مثالًا عن دالة أخرى تستخدم `getchar` لقراءة المحارف من دخل البرنامج ومن ثمّ تعيدها باستثناء المسافة space ومسافة الجدولة tab والأسطر الجديدة newline.

```
#include <stdio.h>

int
non_space(void){
```

```
        int c;
        while ( (c=getchar ())=='\t' || c== '\n' || c==' ')
                ; /*تعليمة فارغة*/
        return (c);
}
```

لاحظ عملية التحقق من المحارف عن طريق تعليمة while، والتي لا تحتوي على أي تعليمة في متنها، إذ أن وجود فاصلة منقوطة لوحدها ليست نادرة الحدوث وإنما هي شائعة الاستخدام، وعادةً ما تُصحب بتعليق بسيط لمواساة وحدتها، لكن رجاءً ثمّ رجاءً لا تكتبها على النحو التالي:

```
while (something);
```

فمن السهل ألّا تلاحظ الفاصلة المنقوطة في نهاية السطر عند قراءة البرنامج، وتفترض أن التعليمات أسفلها تتبع لتعليمة while.

يجب أن يكافئ نوع التعبير المُعاد نوع الدالة ضمن تعليمة return، أو على الأقل أن يكون بالإمكان تحويله ضمن تعليمة إسناد. على سبيل المثال، يمكن أن تحتوي دالة مُصرح عنها أنها تُعيد النوع double التعليمة:

```
return (1);
```

سيحوَّل بذلك العدد الصحيح إلى نوع double، ومن الممكن أيضًا كتابة return دون أي تعبير مصاحب لها، لكن ذلك سيتسبب بخطأ برمجي إن استخدمت هذه الطريقة ما لم تُعيد الدالة النوع void. من **غير المسموح** إلحاق تعبير بتعليمة return إذا كانت الدالة تعيد النوع void.

### 4.2.3 وسطاء الدوال

لم يكن بالإمكان قبل مجيء لغة سي C المعيارية إضافة أي معلومات عن وسطاء الدالة عدا داخل تعريف الدالة نفسها، وكانت هذه المعلومات تُستخدم داخل متن الدالة فقط وتُنسى في نهاية المطاف. كان من الممكن -في تلك الأيام القديمة البائسة- تعريف دالةٌ بثلاث وسطاء من نوع double وتمرير وسيط من نوع int لها عند استدعائها، وسيُصرِّف البرنامج بصورةٍ طبيعية دون إظهار أي أخطاء ولكنه لن يعمل بالنحو الصحيح، إذ كان من واجب المبرمج التحقق من صحة عدد وأنواع الوسطاء للدالة. كما ستتوقع، كان هذا المسبب الأساسي لكثيرٍ من الأخطاء الأولية في البرنامج ومشكلات قابلية التنقل. إليك مثالًا عن تعريف دالة واستخدامها مع وسطائها لكن دون التصريح عن الدالة كاملًا.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main(){
```

```
        void pmax();                    /* التصريح */
        int i,j;
        for(i = -10; i <= 10; i++){
                for(j = -10; j <= 10; j++){
                        pmax(i,j);
                }
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
/*
* Function pmax.
* Returns:      void
* Prints larger of its two arguments.
*/
void
pmax(int a1, int a2){                   /* التعريف*/
        int biggest;

        if(a1 > a2){
                biggest = a1;
        }else{
                biggest = a2;
        }

        printf("larger of %d and %d is %d\n",
                a1, a2, biggest);
}
```

[مثال 2]

ما الذي يمكنك تعلُّمه من المثال السابق؟ بدايةً، لاحظ بحذر أن التصريح هو للدالة pmax التي تُعيد void، إذ يقع النوع void الموافق للدالة عند تعريفها السطر الذي يسبق اسمها، وهذه الطريقة في الكتابة أسلوبٌ وتحبيذٌ شخصي، إذ من السهل إيجاد التصريح عن الدالة إذا كان اسم الدالة يقع في بداية السطر.

لا يشير التصريح عن الدالة في main إلى وجود أي وسطاء لها، إلا أن استخدام الدالة بعد عدة أسطر يدل على استخدام وسيطين، وهذا مسموح في كلٍّ من لغة سي المعيارية وسي C القديمة ولكنه يُعد **ممارسةً برمجيةً سيئة**، فمن الأفضل تضمين معلومات عن الوسطاء في التصريح عن الدالة كما سنرى لاحقًا. هذا

الأسلوب القديم في الكتابة هو ميزةٌ عفا عليها الزمن ومن الممكن أن تختفي في إصدارات سي المعيارية القادمة.

دعنا ننتقل الآن إلى تعريف الدالة حيث يقع متنها، ولاحظ أنه يدل على أن الدالة تأخذ وسيطين باسم a1 وa2، كما أن نوع الوسطاء محدد بالنوع int.

**لا يتوجب** عليك تحديد نوع كلّ الوسطاء في هذه الحالة لأن النوع سيكون int افتراضيًا، ولكن هذه ممارسة سيئة، إذ يجب عليك الاعتياد على تحديد نوع الوسطاء في كل مرة حتى لو كانت من نوع int، لأن ذلك يسهل عملية قراءة شيفرة البرنامج ويشير إلى أنك تتعمد استخدام النوع int ولم يحصل ذلك عن طريق الخطأ بنسيانك لتحديد نوع الوسيط. **يمكن** تعريف الدالة pmax بهذه الطريقة ولكنها ممارسة سيئة كما ذكرنا سابقًا:

```
/* مثال سيء على التصريح عن الدالة */

void
pmax(a1, a2){
        /* and so on */
```

الطريقة المثالية للتصريح والتعريف عن الدوال هي باستخدام ما يُدعى **النماذج الأولية prototypes**.

### 4.2.4 نماذج الدوال الأولية function prototypes

كان تقديم **نماذج الدوال الأولية function prototypes** من أكبر التغييرات في لغة سي C المعيارية؛ إذ أن نموذج الدالة الأولية هو تصريح أو تعريف يتضمن معلومات عن عدد وأنواع الوسطاء التي تستخدمها الدالة.

على الرغم من إمكانية إهمال تحديد أي معلومات بخصوص وسطاء الدالة عند التصريح عنها، إلا أن ذلك يحدث بهدف التوافقية مع لغة سي القديمة فقط، وينبغي تجنُّبه، و**لا** يعدّ التصريح دون أي معلومات عن وسطاء الدالة نموذجًا أوّليًّا. إليك المثال السابق مكتوبًا "بطريقة صحيحة":

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){
      void pmax(int first, int second);       /*التصريح*/
      int i,j;
      for(i = -10; i <= 10; i++){
              for(j = -10; j <= 10; j++){
                      pmax(i,j);
              }
```

```
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}

void
pmax(int a1, int a2){                                   /*التعريف*/
        int biggest;

        if(a1 > a2){
                biggest = a1;
        }
        else{
                biggest = a2;
        }

        printf("largest of %d and %d is %d\n",
                a1, a2, biggest);
}
```

[مثال 3]

احتوى التصريح هذه المرة على معلومات بخصوص وسطاء الدالة، لذا يصنّف على أنـه نمـوذج أوّلي. لا يُعـد الاسمان `first` و `second` جزءًا ضروريًا من التصريح، لكنهما موجودان لتصبح عملية الإشارة إلى الوسطاء عنـد توثيق عمل الدالة عمليّةً أسـهل، إذ نسـتطيع وصـف عمـل الدالـة ببسـاطة عن طريـق اسـتخدامهما عن طريـق التصريح التالي:

```
void pmax (int xx, int yy );
```

وهنا نستطيع القول أن الدالة `pmax` تطبـع القيمـة الأكـبر ضـمن الوسـيطين `xx` و `yy` بـدلًا عن الإشـارة إلى الوسطاء بتموضعها، أي الوسيط الثاني والأول وهكذا، لأنها طريقةٌ معرضةٌ لسوء الفهم أو الخطأ في عدّ الترتيب.

عدا عن ذلـك، تسـتطيع التخلص من أسـماء الوسـطاء في تصـريح الدالـة ويكـون التصـريح التـالي مسـاويًا للتصريح السابق:

```
void pmax (int,int);
```

الفرق بين التصريحين هو فقط أسماء الوسطاء.

يكون التصريح عن دالة لا تأخذ أي وسطاء على النحو التالي:

```
void f_name (void);
```

وللتصريح عن دالة تأخذ وسيطًا من نوع `int` وآخرًا من نوع `double` وعددًا غير محدّد من الوسطاء الآخرين، نكتب:

```
void f_name (int,double,...);
```

توضّح هنا النقاط الثلاث `...` أن هناك المزيد من الوسطاء، وهذا مفيدٌ في حال كانت الدالة تسمح بوجود عددٍ غير محدد من الوسطاء، مثل دالة `printf`، إذ أن تصريح الدالة هذه يكون على النحو التالي:

```
int printf (const char *format_string,...)
```

الوسيط الأول هو "مؤشر pointer للقيمة من النوع `const char`"، وسنناقش معنى ذلك لاحقًا.

يتحقق المصرّف من استخدام الدالة بما يتوافق مع تصريحها وذلك حالما يُعلَم بأنواع وسطاء الدالة أثناء قراءتهم من النموذج الأولي للدالة، وتحوّل قيمة الوسيط إلى النوع الصحيح حسب النموذج الأولي في حال استُدعيت الدالة باستخدام نوع وسيطٍ مغاير "بصورةٍ مشابهة للتحويل الحاصل عند عملية الإسناد".

إليك مثالًا توضيحيًّا: دالةٌ تحسب الجذر التربيعي لقيمةٍ ما باستخدام طريقة نيوتن للتقريبات المتعاقبة Newton's method of successive approximations.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define DELTA 0.0001
main(){
	double sq_root(double); /* النموذج الأولي*/
	int i;

	for(i = 1; i < 100; i++){
		printf("root of %d is %f\n", i, sq_root(i));
	}
	exit(EXIT_SUCCESS);
}

double
sq_root(double x){	/* التعريف*/
	double curr_appx, last_appx, diff;
```

```
        last_appx = x;
        diff = DELTA+1;

        while(diff > DELTA){
                curr_appx = 0.5*(last_appx
                        + x/last_appx);
                diff = curr_appx - last_appx;
                if(diff < 0)
                        diff = -diff;
                last_appx = curr_appx;
        }
        return(curr_appx);
}
```

[مثال 4]

يوضّح النموذج الأولي للدالة أن `sq_root` تأخذ وسيطًا واحدًا من نـوع `double`، وفي حقيقـة الأمـر، تُمـرّر قيمة الوسيط ضمن الدالة `main` بنوع `int` لـذا يجب تحويلهـا إلى `double` أوّلًا؛ لكن يجـدر الانتبـاه هنـا إلى أن سي ستفترض أن المبرمج تقصَّد تمرير قيمة `int`، إذا لم يكُن هناك أي نموذج أولي وفي هـذه الحالـة سـتُعامَل القيمة على أنها `int` دون تحويل.

يشير المعيار ببساطة إلى أن هذا سيتسبب بسلوك غير محدّد، إلا أن ذلك الوصف يقلل من خطـورة الخطـأ تمامًا مثل القول أن الإصابة بمرض قاتل أمرٌ مؤسفٌ فقط، إذ أن هذا الخطأ **خطير جدًا** وتسبب سابقًا في برامج سي القديمة بالكثير والكثير من المشكلات.

السبب في التحويل من `int` إلى `double` في هذه الحالة هو بسبب رؤيـة المصـرّف للنمـوذج الأولي ممـا دلّه على ما يجب فعله، وكما توقعت، هناك العديد من القواعد المستخدمة لتحديد التحويـل المناسـب في كـل حالة، وسنتكلم عنها.

## 4.2.5 تحويلات الوسطاء

تُجرى عدة تحويلات عند استدعاء دالةٍ ما حسب كل حالة وفقًا لقيم الوسـطاء وحسـب وجـود أو عـدم وجـود النموذج الأولي، ولا بُدّ أن نوضّح قبل أن نبدأ أنه **من الممكن** لك استخدام هـذه القـوانين لمعرفـة قيم الوسـطاء الناتجة دون استخدام نموذج أولي، ولكن هذه وصفةٌ لكارثة تُطهى على نار هادئة، ولا يوجد أي عذر لعدم استخدام النماذج الأولية فهي سهلة الاستخدام؛ لذا استخدم هـذه القواعـد فقـط في الـدوال ذات عـدد الوسـطاء المتغيّـر باستخدام علامة الاختصار Ellipsis "..." كما سنشرح لاحقًا.

تتضمن هـذه القواعـد **ترقيات الوسـطاء الافتراضـية default argument promotions** و**الأنـواع المتوافقة compatible types**، وفيما يخص ترقية الوسطاء الافتراضية، فهي:

- تُطبَّق الترقية العددية الصحيحة على كل قيمة وسيط.
- يُحوَّل الوسيط إلى نوع `double` إذا كان نوعه `float`.

أبرزَ ظهور النماذج الأولية -إضافةً إلى أشياء أخرى- الحاجة للدقة بخصوص "الأنواع المتوافقة"، الـتي لم تكن مشكلةً في سي القديمة. سنستعرض لائحة قوانين الأنواع المتوافقة كاملةً لاحقًا، لأننا نعتقد أن معظم مـبرمجي لغة سي لن يكونوا محتاجين لتعلمها كاملةً، وعوضًـا عن ذلـك سـنكتفي في الـوقت الحـالي بمعرفـة أن الأنـواع المتماثلة متوافقة فيما بينها.

تُطبّق التحويلات بالاعتماد على القوانين التالية (ليست اقتباسًا مباشرًا من المعيار، بل سـتدلك على كيفيـة تطبيق قوانين سي المعيارية):

أولًا، تُرقّى وسطاء الدالـة وفـق ترقيـة الوسـطاء الاعتياديـة، إذا لم يكن هنـاك أي نمـوذج أولي يسـبق نقطـة استدعاء الدالة، وذلك وفق التفاصيل:

- نحصل على سلوكٍ غير محدد إذا كان عدد الوسطاء المزوَّد لا يكافئ عدد الوسطاء الفعلي للدالة.
- يجب أن تكون أنواع الوسطاء المزوّدة للدالة **متوافقة** مع أنواع الوسطاء الفعلية وفق تعريف الدالـة بعـد تطبيق الترقية عليهم وذلك إذا لم يكن لتعريف الدالة نموذجٌ أولي، ونحصل على سلوك غير محدد فيمـا عدا ذلك.
- نحصل على سلوك غير محدد إذا لم تحتوي الدالة على نموذج أولي في تعريفهـا وكـانت أنـواع الوسـطاء المزوّدة غير متوافقة مع أنواع الوسطاء الفعلية، كما يكون السلوك غير محدد أيضًـا إذا تضـمّن النمـوذج الأولي للدالة علامة الاختصار "...".

ثانيًا، تُحوّل الوسطاء إلى الأنواع المُسندة إلى كلٍّ منها وفقًا للنموذج الأولي، وبصورةٍ مشابهة للتحويـل الـذي يحصل عند الإسناد، وذلك إذا كان النموذج الأولي **ضمن** النطاق scope عند استدعاء الدالة، ويشمل ذلك جميع المتغيرات في لائحة الوسطاء بما فيها المتغيرات المُشار إليها بعلامة الاختصار "...".

**من الممكن** كتابة برنامج يحتوي على نموذج أولي ضمن النطاق عند استدعاء الدالة لكن دون وجود نمـوذج أولي داخل تعريف الدالة، وهذا طبعًا أسلوبٌ سيءٌ جـدًا، وفي هـذه الحالـة يجب على نـوع الدالـة المُسـتدعاة أن يكون **متوافقًا** مع النوع المُستخدم عند استدعاء هذه الدالة.

لا يحدّد المعيار صراحةً ترتيب تقييم وسطاء الدالة عند استدعائها.

### 4.2.6 تعريف الدوال

تسمح النماذج الأولية للدوال باستخدام النص ذاته للتصريح عن الدالة والتعريف عنها.

لتحويل تصريح الدالة التالي إلى تعريف:

```
double
some_func(int a1, float a2, long double a3);
```

نضيف متنًا إلى الدالة:

```
double
some_func(int a1, float a2, long double a3){
      /* متن الدالة */
      return(1.0);
}
```

وذلك باستبدال الفاصلة المنقوطة في نهاية التصريح بتعليمة مركّبة.

يعمل تعريف الدالة أو التصريح عنها مثل نموذج أولي شرط تحديد أنواع المُعاملات parameters، ويُعدّ المثالين السابقين نموذجين أوليين.

ما تزال لغة C المعيارية تدعم طريقة سي القديمة في التصريح عن دالة باستخدام وسائطها، ولكن يجب تجنُّب استخدامها. يمكننا التصريح عن الدالة بالطريقة المذكورة على النحو التالي:

```
double
some_func(a1, a2, a3)
      int a1;
      float a2;
      long double a3;
{

      /* متن الدالة */
      return(1.0);
}
```

لا يمثّل التعريف السابق نموذجًا أوليًا، لعدم وجود أي معلومات بخصوص المُعاملات عند تسميتها، ويقدِّم التعريف السابق معلومات حول النوع الذي تُعيده الدالة، وبهذا لا يتذكر المصرّف Compiler أي معلومات تخص أنواع الوسطاء بنهاية التعريف.

يحذِّر المعيار بخصوص هذه الطريقة بقوله أنها ستختفي غالبًا في إصدارات قادمة، ولذلك لن نذكرها مرةً أخرى.

دعنا نلخّص ما تكلمنا عنه سابقًا بإيجاز:

- يمكن استدعاء الدوال على نحوٍ تعاودي.
- يمكن للدوال إعادة أي قيمة تصرح عنها عدا المصفوفات والدوال (إلا أنه يمكنك التحايل على هذا القيد باستخدام المؤشرات)، ويجب أن تكون الدوال من النوع `void` إذا لم تُعد أي قيمة.
- استخدم نماذج الدوال الأولية دائمًا.
- نحصل على سلوك غير محدد، إذا استُدعيت دالة أو تعريفها إلا إذا:
  - كان النموذج الأولي **دائمًا** ضمن النطاق في **كل مرة** تُستدعى فيها الدالة أو تُعرَّف.
  - كنت حريصًا جداً بهذا الخصوص.
- تُحوّل قيم الوسطاء عند استدعاء الدالة إلى أنواع المُعاملات الفعلية للدالة (المعرّفة وفقها)، بصورةٍ مشابهة للتحويل عند عملية الإسناد باستخدام العامل operator "="، وذلك **بفرض** أنك تستخدم نموذجًا أوّليًّا.
- يجب أن يشير النموذج الأولي إلى النوع `void`، إذا لم تأخذ الدالة أي وسطاء.
- يجب تحديد اسم وسيط واحد على الأقل في دالة تقبل عددًا متغيرًا من الوسطاء، ومن ثم الإشارة إلى العدد المتغير من الوسطاء بالعلامة "..."، كما هو موضح:

```
int
vfunc(int x, float y, ...);
```

سنناقش لاحقًا استخدام هذا النوع من الدوال.

### 4.2.7 التعليمات المركبة والتصريحات

يتألف متن الدالة من تعليمة مركبة Compound statement، ومن الممكن التصريح عن متغيرات جديدة داخل هذه التعليمة المركبة. تغطّي أسماء المتغيرات الجديدة على أسماء المتغيرات الموجودة مسبقًا، إذا تشابهت أسماؤهم ضمن التعليمة المركبة، وهذا مماثلٌ لأي لغة تعتمد تنسيقًا كتليًا مشابهًا للغة سي. تقيد لغة سي C التصريحات لتكون ضمن بداية التعليمة المركبة أو "الكتلة البرمجية"، ويُمنع استخدام التصريحات داخل الكتلة حالما يُكتب أي نوع من التعليمات statements داخلها.

كيف يمكن التغطية على أسماء المتغيرات؟ يوضح المثال التالي ما نقصد بذلك:

```
int a;                    /* يمكن رؤيته من هذه النقطة فصاعدًا */

void func(void){
      float a;          /* يمثل متغير a مختلف*/
      {
              char a; /* متغير a مختلف أيضًا */
      }
                        /* يمكن رؤية المتغير ذو النوع قيمة حقيقية */
}
                        /* يمكن رؤية المتغير ذو النوع قيمة صحيحة */
```

[مثال 5]

عند التصريح عن اسم ما داخل كتلة فهذا يتسبب بإهمال أي اسم مشابه خارج الكتلة حتى الوصول لنهايتها، كما يمكنك التصريح عن الاسم ذاته في كتلة داخلية، وتكرار هذه العملية إلى ما لانهاية.

**نطاق Scope** الاسم هو المجال الذي يكون فيه لهذا الاسم معنًى، ويبدأ نطاق الاسم من نقطة ذكر الاسم إلى نهاية الكتلة التي ذُكر فيها، ويستمر إلى نهاية الملف إذا كان الاسم خارجي External (خارج أي دالة)، ويختفي في نهاية الدالة إذا كان الاسم داخلي Internal (داخل دالة)، ويمكن إعادة تعيين النطاق عند إعادة التصريح عن الاسم داخل الكتلة ذاتها.

يمكنك تنفيذ حيل طريفة مثل المثال التالي باستخدام قوانين النطاق:

```
main () {}
int i;
f () {}
f2 () {}
```

يمكن للدالتين `f` و `f2` استخدام المتغير `i`، لكن `main` لا تستطيع لأن التصريح عن الدالة أتى بعد الدالة `main`، ولا تُستخدم كثيرًا هذه الطريقة بالضرورة ولكنها تستفيد من طريقة لغة سي C الضمنية في معالجة التصريحات. قد تتسبب هذه الطريقة ببعض من الحيرة لمن يقرأ ملف الشيفرة البرمجية، ويجب تجنُّبها عن طريق التصريح عن المتغيرات الخارجية قبل تعريف أي دالة في الملف.

غيّرت لغة سي C المعيارية بعض الأمور بخصوص معاملات الدالة الفعلية، إذ افتُرض تصريحها داخل التعليمة المركبة الأولى حتى لو لم تكن هذه الحالة محققة فعلًا كتابيًّا، وهذا ينطبق على الطريقة القديمة والجديدة في التعريف عن الدالة. بناءً على ما سبق، نحصل على خطأ إذا كان اسم معاملات الدالة الفعلية مطابقًا لاسمٍ قد صُرِّح عنه في التعليمة المركّبة الخارجية.

كان خطأ إعادة التعريف غير المقصود في لغة سي C القديمة خطأً صعب التتبع والحل، إليك ما قد يبدو عليه الخطأ:

```
/* إعادة تصريح خاطئة للوسطاء */

func(a, b, c){
      int a;  /* AAAAgh! */
}
```

الجزء المسبب للمتاعب هنا هو التصريح الجديد للمتغير a في متن الدالة، الذي سيغطّي على المعامل a، ولن نتكلم بالمزيد عن هذه المشكلة بما أنها غير ممكنة الحدوث بعد الآن.

## 4.3 مفهوم التعاود Recursion وتمرير الوسطاء إلى الدوال

نظرنا سابقًا إلى كيفية تعيين نوع للدالة Funtion type (كيفية التصريح عن القيمة المُعادة ونوع أيّ وسيط argument تأخذه الدالة)، وأن تعريف definition الدالة يمثّل متنها أو جسمها body، ولننظر الآن إلى استخدامات الوسطاء.

### 4.3.1 استدعاء الوسيط بقيمته call by value

تُعامل لغة سي C وسطاء الدالة بطريقة بسيطة وثابتة دون أي استثناءات فردية؛ إذ تُعامل وسطاء الدالة عندما تُستدعى الدالة مثل أي تعبير اعتيادي، وتُحوّل قيم هذه التعابير وتُستخدم فيما بعد لتهيئة القيمة الأولية لمعاملات الدالة المُستدعاة الموافقة، التي تتصرف بدورها مثل أيّ متغير محلي داخل الدالة، كما هو موضح في المثال:

```
void called_func(int, float);

main(){
      called_func(1, 2*3.5);
      exit(EXIT_SUCCESS);
}

void
called_func(int iarg, float farg){
      float tmp;

      tmp = iarg * farg;
```

```
}
```

[مثال 6]

يوجد للدالة called_func تعبيران يحلّان محل الوسطاء في دالة main، وتُقيّم قيمتهما ويُستخدمان في إسناد قيمة مبدئية للمعاملين irag و frag في الدالة called_func، ويملك المعاملان الخصائص ذاتها التي يملكها أي متغير داخلي مصرّحٌ عنه في الدالة called_func دون أي تفريق، مثل tmp.

تُعد عملية إسناد القيمة المبدئية للمعاملات الفعلية التواصل الأخير بين مستدعي الدالة والدالة المُستدعاة، إذا استثنينا القيمة المُعادة.

يجب أن ينسى من اعتاد البرمجة باستخدام فورتران FORTRAN وباسكال Pascal طريقة استخدام وسطاء من نوع var، والتي **يمكن** للدالة أن تغير من قيم وسطائها؛ إذ لا يمكنك في لغة سي أن تؤثر على قيم وسطاء الدالة بأي شكل من الأشكال، إليك مثالًا نوضّح فيه المقصود.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main(){
	void changer(int);
	int i;

	i = 5;
	printf("before i=%d\n", i);
	changer(i);
	printf("after i=%d\n", i);
	exit(EXIT_SUCCESS);
}

void
changer(int x){
	while(x){
		printf("changer: x=%d\n", x);
		x--;
	}
}
```

[مثال 7]

ستكون نتيجة المثال السابق على النحو التالي:

```
before i=5
changer: x=5
changer: x=4
changer: x=3
changer: x=2
changer: x=1
after i=5
```

تَستخدم الدالة `changer` معاملها الفعلي `x` بمثابة متغير اعتيادي (وهو فعلًا متغير اعتيادي)، ورغم أن قيمة `x` تغيرت إلا أن المتغير `i` في الدالة `main` لم يتأثر بالتغيير، وهذه هي النقطة التي نريد توضيحها لك بمثالنا، إذ تُمرَّر الوسطاء في سي C إلى الدالة باستخدام قيمها فقط ولا تُمرر أي تغييرات من الدالة بالمقابل.

### 4.3.2 استدعاء الوسيط بمرجعه call by reference

من الممكن كتابة دوال تأخذ **المؤشرات pointers** على أنها وسطاء، مما يعطينا شكلًا من أشكال الاستدعاء بالمرجع. سنناقش هذا لاحقًا، إذ ستسمح هذه الطريقة للدالة بتغيير قيم المتغيرات التي استدعتها.

### 4.3.3 التعاود Recursion

بعد أن تكلمنا عن كيفية تمرير الوسطاء بأمان، حان الوقت للتكلم على **التعاود Recursion**، إذ يثير هذا الموضوع جدلًا طويلًا غير مثمرٍ بين المبرمجين، فالبعض يعدّه رائعًا ويستخدمه متى ما أتيحت له الفرصة، بينما يتجنَّب الطرف الآخر استخدامه بأي ثمن، لكن دعنا نوضّح أنك **ستضطرّ** لاستخدامه في بعض الحالات دون أي مفرّ. لا يتطلب دعم التعاود أيّ جهد إضافي لتضمينه في أي لغة برمجة، وبذلك -وكما توقّعت- تدعم لغة سي C التعاود.

يمكن لأي دالة أن تستدعي نفسها من داخلها أو من داخل أي دالة أخرى في لغة سي، ويتسبب كل استدعاء للدالة بحجز متغيراتٍ جديدة مصرّح عنها داخل الدالة، وفي الحقيقة، كانت تفتقر التصريحات التي استخدمناها حتى اللحظة إلى شيءٍ ما، ألا وهو الكلمة المفتاحية `auto` التي تعني "الحجز التلقائي".

```
/* مثال عن الحجز التلقائي */
main(){
      auto int var_name;
      .
      .
      .
}
```

تُحجز وتُحرّر مساحة التخزين للمتغيرات التلقائية تلقائيًا عند البدء بتنفيذ الدالة وعند إعادتها للقيمة، أي الخروج منها، وبذلك سيحتاج البرنامج فقط لحجز مساحة لمصفوفتين مثلًا، في حال صرَّحت دالتين عن مصفوفتين تلقائيتين automatic ونُفِّذت الدالتان في الوقت نفسه.

على الرغم من كون "auto" كلمةً مفتاحية في لغة سي، لكنها لا تُستخدم عمليًا لأنها الحالة الافتراضية لعمليات التصريح عن المتغيرات الداخلية وغير صالحة في حال استخدامها مع عمليات التصريح عن المتغيرات الخارجية. تكون قيمة المتغير التلقائي غير معروفةٍ عند التصريح عنه إذا لم تُسند أي قيمة ابتدائية إليه، وسيتسبب استخدام قيمة المتغير في هذه الحالة في ظهور سلوكٍ غير محدد.

يجب علينا انتقاء الأمثلة التي سنشرح عن طريقها مفهوم التعاود، إذ لا توضّح الأمثلة البسيطة مفهوم التعاود على النحو المناسب، والأمثلة التي توضح المفهوم كاملًا صعبة الفهم على المبتدئين، الذين يواجهون بعض الصعوبة في التمييز بين التصريح والتعريف على سبيل المثال، وسنتكلم لاحقًا عن مفهوم التعاود وفائدته باستخدام بعض الأمثلة عندما نتكلم عن هياكل البيانات.

يوضح المثال التالي برنامجًا يحتوي دالةً تعاوديةً تتحقق من التعابير المُدخلة إليها بما فيها الأرقام (0-9) والعوامل "*" و "%" و "/" و "+" و "-"، إضافةً إلى الأقواس، بالطريقة نفسها التي تستخدمها لغة سي، كما استخدم ستروستروب Stroustrup في كتابه عن لغة C++ المثال ذاته لتوضيح مفهوم التعاود، وهذا من قبيل الصدفة لا غير.

يُقيّم التعبير في المثال التالي، ثُم تُطبع قيمته إن صادف محرفًا غير موجودًا في لغته (المحارف التي ذكرناها سابقًا)، ولغرض البساطة لن يكون في المثال أي طريقة للتحقق من الأخطاء. يعتمد المثال كثيرًا على الدالة `ungetc` التي تسمح للمحرف الأخير الذي قُرأ بواسطة الدالة `getchar` أن يُعيّن على أنه "غير مقروء" للسماح بقراءته مرةً أخرى، والمُعامل الثاني المُستخدم في المثال مُصرّحٌ عنه في `stdio.h`.

سيرغب من يفهم صيغة باكوس نور BNF بمعرفة أن التعبير سيُفهم عن طريق استخدام الصيغة التالية:

```
<primary> ::= digit | (<exp>)
<unary>   ::= <primary> | -<unary> | +<unary>
<mult>    ::= <unary> | <mult> * <unary> |
              <mult> / <unary> | <mult> % <unary>
<exp>     ::= <exp> + <mult> | <exp> - <mult> | <mult>
```

يكمن التعاود في مثالنا ضمن مكانين أساسيين، هما: الدالة `unary_exp` التي تستدعي نفسها، والدالة `primary` التي تستدعي الدالة الموجودة على المستوى العلوي للبرنامج (نقصد دالة `expr`) لتقييم التعابير المكتوبة بين قوسين.

حاول تشغيل البرنامج باستخدام كل من الأمثلة التالية إذا لم تفهم عمله، وتتبَّع عمله يـدويًّا على المُـدخلات، كما يلي:

```
1
1+2
1+2 * 3+4
1+--4
1+(2*3)+4
```

سيستغرق هذا بعض الوقت منك.

```
/*
* برنامج يتحقق من تعابير لغة سي على نحوٍ تعاودي
* لم يُشدّد على حالات الإدخال الخاطئة من المستخدم
*/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int expr(void);
int mul_exp(void);
int unary_exp(void);
int primary(void);

main(){
      int val;

      for(;;){
              printf("expression: ");
              val = expr();
              if(getchar() != '\n'){
                      printf("error\n");
                      while(getchar() != '\n')
                              /* فارغ */;
              } else{
                      printf("result is %d\n", val);
              }
```

```
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}

int
expr(void){
        int val, ch_in;

        val = mul_exp();
        for(;;){
                switch(ch_in = getchar()){
                default:
                        ungetc(ch_in,stdin);
                        return(val);
                case '+':
                        val = val + mul_exp();
                        break;
                case '-':
                        val = val - mul_exp();
                        break;
                }
        }
}

int
mul_exp(void){
        int val, ch_in;

        val = unary_exp();
        for(;;){
                switch(ch_in = getchar()){
                default:
                        ungetc(ch_in, stdin);
                        return(val);
                case '*':
                        val = val * unary_exp();
```

```
                        break;
                case '/':
                        val = val / unary_exp();
                        break;
                case '%':
                        val = val % unary_exp();
                        break;
                }
        }
}

int
unary_exp(void){
        int val, ch_in;

        switch(ch_in = getchar()){
        default:
                ungetc(ch_in, stdin);
                val = primary();
                break;
        case '+':
                val = unary_exp();
                break;
        case '-':
                val = -unary_exp();
                break;
        }
        return(val);
}

int
primary(void){
        int val, ch_in;

        ch_in = getchar();
        if(ch_in >= '0' && ch_in <= '9'){
```

```
                val = ch_in - '0';
                goto out;
        }
        if(ch_in == '('){
                val = expr();
                getchar();      /* تخطي قوس الإغلاق "')" */
                goto out;
        }
        printf("error: primary read %d\n", ch_in);
        exit(EXIT_FAILURE);
out:
        return(val);
}
```

[مثال 8]

## 4.4 مفهوم النطاق Scope والربط Linkage على مستوى الدوال

على الرغم من تفادينا لموضوعَي النطاق Scope والربط Linkage في أمثلتنا البسيطة سابقًا، إلا أن الوقت قد حان لشرح هذين المفهومين وأثرهما على قابلية الوصول للكائنات المختلفة في برنامج سي C، ولكن لمَ علينا الاكتراث بذلك على أي حال؟ لأن البرامج العملية التي نستخدمها تُبنى من عدّة ملفات ومكتبات، وبالتالي من المهم للدوال في ملف ما أن تكون قادرةً على الإشارة إلى دوال، أو كائنات في ملفات أو مكتبات أخرى، وهناك عدّة قوانين ومفاهيم تجعل من ذلك ممكنًا.

عُد لاحقًا إلى هذه الجزئية إن كنت جديدًا على لغة سي، لأن هناك بعض المفاهيم الأهم التي يجب عليك معرفتها أوّلًا.

### 4.4.1 الربط Linkage

هناك نوعان أساسيان من الكائنات في لغة سي C، هما: الكائنات الخارجية والكائنات الداخلية، والفرق بين الاثنين مُعتمدٌ على الدوال؛ إذ أن أيّ شيء يُصرّح عنه خارج الدالة فهو خارجي؛ وأي شيء يُصرّح عنه داخل الدالة بما فيه مُعاملات الدالة فهو داخلي. بما أننا لا نستطيع تعريف دالة ما داخل دالة أخرى، فهذا يعني أن الدوال هي كائنات خارجية دائمًا، وإذا نظرنا إلى بنية برنامج سي على المستوى الخارجي، سنلاحظ أنه يمثّل مجموعةً من **الكائنات الخارجية External objects**.

يمكن للكائنات الخارجية فقط أن تُشارك في هذا الاتصال عبر الملفات والمكتبات، وتُعرف قابلية الوصول للكائنات هذه من ملف إلى آخر أو ضمن الملف نفسه وفقًا للمعيار باسم **الربط Linkage**، وهناك ثلاثة أنواع

للربط، هي: **الربط الخارجي External linkage** و**الربط الداخلي Internal Linkage** و**عديم الربط No linkage**. يكون أي شيء داخلي في الدالة سواءٌ كان وسطاء الدالة أو متغيراتها عديم الربط **دائمًا** ويمكن الوصول إليه من داخل الدالة فقط، ويمكنك التصريح عن الشيء الذي تريده داخل الدالة مسبوقًا بالكلمة المفتاحية `extern` لتجاوز هذا القيد، وهذا سيدل على أن الكائن ليس داخليًّا، وليس عليك القلق بهذا الشأن في الوقت الحالي.

تكون الكائنات ذات الربط الخارجي موجودةً على المستوى الخارجي لبنية البرنامج، وهذا هو نوع الربط الافتراضي للدوال ولأي شيء آخر يُصرَّح عنه خارج الدوال، و**تُشير جميع الأسماء المماثلة لاسم الكائن ذي الربط الخارجي إلى الكائن نفسه**. ستحصل على سلوك غير محدد من البرنامج، إذا صرحت عن كائن بنفس الاسم مرتين أو أكثر بربط خارجي وبأنواع غير متوافقة. المثال الذي يأتي إلى بالنا مباشرةً بخصوص الربط الخارجي هو الدالة `printf` والمُصرّح عنها في ملف الترويسة `<stdio.h>` على النحو التالي:

```
int printf(const char *, ...);
```

يمكننا فورًا بالنظر إلى التصريح السابق معرفة أن الدالة `printf` تُعيد قيمةً من نوع `int` باستخدام النموذج الأولي الموضّح، كما نعرف أن للدالة ربطًا خارجيًّا لأنها كائن خارجي (تذكّر، كل دالة هي كائن خارجي افتراضيًا)، وبالتالي فنحن نقصد هذه الدالة تحديدًا عندما نكتب الاسم `printf` في أي مكان ضمن البرنامج، إذا استخدمنا الربط الخارجي.

ستحتاج في بعض الأحيان لطريقة تمكّنك من التصريح عن الدوال والكائنات الأخرى في ملفٍ واحد بحيث تسمح لهم بالإشارة إلى بعضهم البعض **دون** القدرة على الوصول إلى تلك الكائنات والدوال من خارج الملف. نحتاج هذه الطريقة غالبًا في الوحدات modules التي تدعم دوال المكتبات، إذ من الأفضل في هذه الحالة إخفاء بعض الكائنات التي تجعل استخدام هذه الدالة ضمن المكتبة ممكنًا، فهي ليست ضرورية المعرفة لمستخدم المكتبة وستكون سببًا للإزعاج لا غير، ونستطيع تحقيق ذلك الأمر عن طريق استخدام **الربط الداخلي**.

تُشير الأسماء ذات الربط الداخلي للكائن ذاته ضمن ملف الشيفرة المصدرية الواحد، ويمكنك التصريح عن كائن ذي ربط داخلي عن طريق بدء التصريح بالكلمة المفتاحية "static" التي ستغيّر ربط الكائن من ربط خارجي (افتراضي) إلى ربط داخلي، كما يمكنك التصريح عن كائنات داخلية باستخدام "static" بهدف استخدامٍ آخر ولكننا لن نتطرق لهذا الاستخدام حاليًا.

من المُربك استخدام المصطلحين "داخلي" و"خارجي" لوصف نوع الربط ونوع الكائن، ولكن يعود ذلك لأسباب تاريخية، إذ سيتذكر مبرمجو لغة سي القدماء كون الاستخدامين متساويين، وأن استخدام أحدهما يتضمن تحقّق الآخر، ولكن تغيّر ذلك الأمر للأسف حديثًا وأصبح معنى الاستخدامين مختلف، ولنلخّص الفرق فيما يلي:

الجدول 12: الربط وقابلية الوصول

| نوع الربط | نوع الكائن | قابلية الوصول |
|---|---|---|
| خارجي | خارجي | يمكن الوصول إليه من أي مكان ضمن البرنامج |
| داخلي | خارجي | يمكن الوصول إليه عبر ملف واحد فقط |
| لا يوجد ربط | داخلي | محلّي لدالة واحدة |

أخيرًا وقبل أن ننتقل إلى مثالٍ آخر، علينا أن نعرف أن لجميع الكائنات ذات الربط الخارجي تعريفٌ واحدٌ فقط، مع أنه بالإمكان أن يوجد عدة تصريحات متوافقة حسب حاجتك. إليك المثال:

```
/* الملف الأول */

int i; /* تعريف*/
main () {
  void f_in_other_place (void);   /* تصريح*/
  i = 0
}
/* نهاية الملف الأول */



/* بداية الملف الثاني */

extern int i; /* تصريح*/
void f_in_other_place (void){   /* تعريف*/
  i++;
}
/* نهاية الملف الثاني */
```

[مثال 9]

على الرغم من تعقيد القوانين الكاملة التي تحدد الفرق بين التعريف والتصريح إلا أن هناك طريقةً بسيطةً وسهلة، هي:

- التصريح عن الدالة دون تضمين متن الدالة هو تصريحٌ لا غير.
- التصريح عن الدالة مرفقًا بمتن الدالة هو تعريف.
- عمومًا، التصريح عن كائن على المستوى الخارجي للبرنامج (مثل المتغير `i` في المثال السابق) هو تعريف، إلا إذا سُبق بالكلمة المفتاحية `extern` وعندها يصبح تصريحًا فقط.

وسنتكلم لاحقًا عن التعريف والتصريح بصورةٍ أعمق لا تبقي مجالًا للشك.

من الواضح في مثالنا السابق أنه من السهل الوصول من أي ملف للكائنات المعرفة في ملفات أخرى باستخدام أسمائها فقط، وسيدلك المثال على كيفية بناء برامج ذات ملفات ودوال ومتغيرات متعددة سواءٌ كانت مُعرّفةً أو مصرّحٌ عنها وفق ما يناسب كل حالة.

إليك مثالًا آخر يوضح استخدام "static" لتقييد قابلية الوصول إلى الدوال والأشياء الأخرى.

```
/* مثال عن وحدة في مكتبة */
/* الدالة callable هي الدالة الوحيدة المرئية على المستوى الخارجي */
static buf [100];
static length;
static void fillup(void);

int
callable (){
      if (length ==0){
              fillup ();
      }
      return (buf [length--]);
}

static void
fillup (void){
      while (length <100){
              buf [length++] = 0;
      }
}
```

[مثال 10]

يمكن للمستخدم -بفرض استخدام المثال السابق وحدةً مستقلّة- إعادة استخدام الأسماء `length` و `buf` و `fillup` بأمان دون أي تأثيرات جانبية أو أخطاء غير متوقعة، ونستثني من ذلك الاسم `callable`، إذ إنه قابل الوصول خارج الملف (الوحدة المستقلة).

تكون قيمة الكائن الخارجي الذي يمتلك مُهيّئًا initializer واحدًا مساوية للصفر قبل بدء البرنامج (لم نتكلم عن أي مُهيّئات عدا الدوال حتى الآن)، وتعتمد الكثير من البرامج على ذلك، بما فيها المثال السابق لقيمة `length` الابتدائية.

### 4.4.2 تأثير النطاق

لا تقتصر عملية مشاركة الأسماء وقابلية الوصول إليها على الربط ببساطة، فالربط يسمح لك باستخدام عدة أسماء والوصول إليها سويًّا ضمن البرنامج أو ضمن الملف، ولكن النطاق Scope يحدد رؤية الأسماء، وقواعد النطاق لحسن الحظ مستقلةٌ عن مبدأ الربط، لذا ليس عليك حفظ أي قواعد مركبة بين المفهومين.

تزيد الكلمة المفتاحية `extern` من تعقيد البرنامج، فعلى الرغم من وضوح استخدامها وتأثيرها إلا أنها تغيّر من بنية برنامج لغة سي الكُتلية التي اعتدنا عليها، وسنناقش المشاكل الناتجة عن استخدامها الخاطئ وغير المسؤول لاحقًا، وقد نظرنا إلى استخدامها مُسبقًا للتأكد من أن التصريح لشيء ما ضمن المستوى الخارجي للبرنامج هو تصريحٌ وليس تعريف.

> يمكنك تجاوز الكلمة المفتاحية "extern" عن طريق **مُهيّئ** للكائن.

التصريح عن أي كائن بيانات (ليس بدالة) ضمن المستوى الخارجي للبرنامج هو تعريفٌ، إلا إذا سبق التصريح الكلمة المفتاحية "extern"، راجع المثال 9.4 من أجل ملاحظة هذه النقطة عمليًّا.

تحتوي تصريحات الدوال الكلمة المفتاحية "extern" ضمنيًّا سواءٌ كانت مكتوبةً أم لا، والطريقتان التاليتان للتصريح عن الدالة `some_function` متكافئتان، وتُعدان تصريحًا وليس تعريفًا:

```
void some_function(void);

extern void some_function(void);
```

الشيء الوحيد الذي يفصل التصريحات السابقة عن كونها تعريفات هو متن الدالة، الذي يُعد مُهيِّئًا للدالة، لذلك عند إضافة المُهيّئ يتحول التصريح إلى تعريف، لا توجد أي مشكلة بخصوص ذلك.

لكن ما الذي يحدث في المثال التالي؟

```
void some_function(void){
      int i_var;
      extern float e_f_var;
}

void another_func(void){
      int i;
      i = e_f_var;     /* مشكلة تتعلق بالنطاق */
}
```

ما الهدف من المثال السابق؟ من المفيد في بعض الأحيان أن تستخدم كائنًا خارجيًّا ضمن دالة ما، وإن اتبعت الطريقة الاعتيادية بالتصريح عن الكائن في بداية ملف الشيفرة المصدرية، فسيكون صعبًا على القارئ معرفة أي من الدوال تستخدم ذلك الكائن؛ بدلًا من ذلك، يمكنك تقييد نطاق الكائن وقابلية الوصول إليه في المكان الذي تريد الوصول إليه، ممّا سيسهّل على القارئ معرفة أن الاسم سيُستخدم فقط في هذا المكان المحدود وليس على كامل نطاق ملف الشيفرة المصدرية. يجدر الانتباه إلى أن معظم طرق إدارة الوسطاء في هذه الحالة عمليةٌ صعبةٌ بعض الشيء.

سنناقش المزيد من القواعد عن الطريقة الأمثل لإنشاء برنامج ذو ملفات متعددة، وما الممكن حدوثه عند المزج بين التصريحات الداخلية والخارجية والكلمات المفتاحية "extern" و "static". لن تكون عملية قراءة هذه القواعد ممتعةً، لكنها ستكون إجابةً لأسئلة من نوع "ماذا لو؟".

### 4.4.3 الكائنات الداخلية الساكنة

يمكنك التصريح عن كائنات داخلية على أنها كائنات داخلية ساكنة باستخدام الكلمة المفتاحية "static"، وتكتسب المتغيرات الداخلية بعضًا من الخصائص باستخدامها هذه الكلمة المفتاحية ألا وهي:

- تُهيّأ قيمتها إلى الصفر عند بداية البرنامج.
- تحافظ على قيمتها من بداية التعليمة التي تضم تصريحها إلى نهايتها.
- يوجد نسخةٌ واحدةٌ من كل متغيّر داخلي ساكن تتشاركه الاستدعاءات التعاودية للدوال التي تحوي هذه المتغيرات.

يمكن أن تُستخدم المتغيرات الداخلية الساكنة لعدة أمور، أحدها هو عدّ مرات استدعاء دالةٍ ما، إذ تحافظ المتغيرات الداخلية الساكنة على قيمتها بعد الخروج من الدالة بعكس المتغيرات الداخلية الاعتيادية. إليك دالةً تُعيد عددًا بين 0 و15، ولكنها تُبقي عدد المرات التي استُدعيت بها:

```
int
small_val (void) {
      static unsigned count;
      count ++;
      return (count % 16);
}
```

[مثال 11]

يمكن أن نستخدم هذه الطريقة للكشف عن الاستدعاءات التعاودية مفرطة الحدوث:

```
void
r_func (void){
	static int depth;
	depth++;
	if (depth > 200) {
		printf ("excessive recursion\n");
		exit (1);
	}
	else {
		/* .r_func() نفّذ بعض الأوامر الاعتيادية. قد تتسبب النتائج باستدعاء آخر لدالة التعاود */
		x_func();
	}
	depth--;
}
```

[مثال 12]

## 4.5 الخاتمة

يمكن تحديد قابلية الوصول إلى المتغيرات ورؤيتها عبر برنامج سي C باستخدام التصـريح المناسـب، سـواءٌ كان الوصول لكافة ملفات البرنامج أو لملفٍ واحد أو دالةٍ واحدة.

إليك احتمالات استخدام الكلمات المفتاحية مع أنواع التصريح والربط الناتج عن كل حالة:

الجدول 13: ملخص الربط

| التصريح | الكلمة المفتاحية | نوع الربط الناتج | قابلية الوصول | ملاحظة |
|---|---|---|---|---|
| خارجي | لا يوجد | خارجي | ضمن كامل البرنامج | 2 |
| خارجي | "extern" | خارجي | ضمن كامل البرنامج | 2 |
| خارجي | "static" | داخلي | ضمن ملف واحد | 2 |
| داخلي | لا يوجد | لا يوجد | ضمن دالة واحدة | |
| داخلي | "extern" | خارجي | ضمن كامل البرنامج | 1 |
| داخلي | "static" | لا يوجد | ضمن دالة واحدة | 2 |

1. لا تنفي قابلية الوصول للتصريحات الداخلية المُسبقة بالكلمة المفتاحية "extern" ضمن كامل البرنامج أهمية الانتباه إلى نطاق الاسم المُصرّح عنه.

2. تُهيّأ الكائنات الخارجية (أو الداخلية باستخدام "static") مرةً واحدةً فقط عند بداية البرنامج، وتُهيّأ إلى قيمة الصفر ضمنيًا إذا لم يكُن هناك أي مُهيّئ لها.

هناك بعض القواعد الذهبية التي تخص استخدام الدوال، ويجب التشديد على ذكرها:

- يجب وجود تصريح أو تعريف ضمن النطاق لاستخدام دالة تُعيد قيمةً مختلفةً عن النوع int.
- لا تُعاد أي قيمة من دالة ما خارج متنها، إلا إذا كانت من نوع void.

التصريح عن أنواع وسطاء الدالة ليس إلزاميًّا، ولكنه محبّذٌ جدًا.

يمكن كتابة الدوال التي تأخذ عددًا متغيرًا من الوسطاء بطرق قابلة للنقل، وسنناقش هذه الطرق لاحقًا.

الدوال هي الحجر الأساس للغة سي، وقد كانت النماذج الأولية أكثر التغييرات الواضحة بقدوم سي المعيارية، ونال هذا التغيير إعجابًا واسعًا من مجتمع مستخدمي اللغة وساعد في تحسين قابلية قراءة برامج لغة سي C، كما فتح المجال لزيادة كفاءة البرنامج بواسطة المصرِّفات وهو ما لم يكُن متاحًا في سي القديمة.

قد يُفاجئ استخدام استدعاء الوسيط بقيمته بعض الناس الذين اعتادوا على لغات أخرى تستخدم طُرُقًا مغايرة، ولكن لغة سي تفضّل أن تسلك الطريق "الأكثر أمانًا" في معظم الحالات.

حاولت لغة سي المعيارية التخلُّص من بعض النقاط الغامضة بخصوص النطاق ومعاني التصريحات، مما ولد بدوره منطقةً غامضة، ولكنها لم تسبب الكثير من المشكلات بالتطبيق عمليًّا.

من المهم على المبتدئ أن يفهم ويتعلم كل ما ذُكر في هذا الفصل، ويمكن استثناء قواعد الربط، إذ من الممكن تأجيلها والرجوع إليها لاحقًا.

## 4.6 تمارين

ستواجه بعض المصاعب بخصوص تمرين 2 و3 و4 إذا تخطيت القسم الذي يتكلم عن الربط، ولك أن تختار العودة إلى هذه التمارين لاحقًا بعد قراءة القسم المذكور.

اكتب دالةً مع التصريحات المناسبة وفق المهام التالية:

1. دالة تدعى "abs_val" تُعيد قيمةً من النوع int وتأخذ وسيطًا من نوع int، وتكون القيمة المُعادة موافقة للقيمة المطلقة للوسيط، وذلك بنفي القيمة إذا كانت سالبة.
2. دالة تدعى "output" تأخذ محرفًا واحدًا مثل وسيط لها وتعيده خرجًا للبرنامج باستخدام الدالة "putchar"، وستتذكر هذه الدالة رقم السطر والعمود الحاليين في جهاز الإخراج، ويُضمَن للقيم أن تكون أحرف أو أرقام أو مسافات فارغة أو محارف أسطر جديدة فقط.

3. اكتب برنامجًا لفحص الدالة "output" في حالة كانت في ملف مستقل عن ملف الدوال التي تستخدمها، وسيكون هنا دالتَين، هما: "current_column" و "current_line" في ملف دالة "output" للحصول على قيمة السطر والعمود الحالي. تأكد أن قيم الدالتين (عدّاد السطر والعمود) ممكنة الوصول من داخل الملف الذي يحويهما فقط.

4. اكتب وافحص دالةً تعاوديةً لطباعة لائحة من الأرقام من 100 إلى 1، بحيث تكون الزيادة بمقدار واحد على قيمة متغير ساكن عند الدخول للدالة، وتستدعي الدالة نفسها مجدّدًا إذا كانت قيمة المتغير أقل من 100، ومن ثم تطبع قيمة المتغيّر وتنقصه بمقدار واحد وتعيد قيمته. تحقق من عمل هذه الدالة.

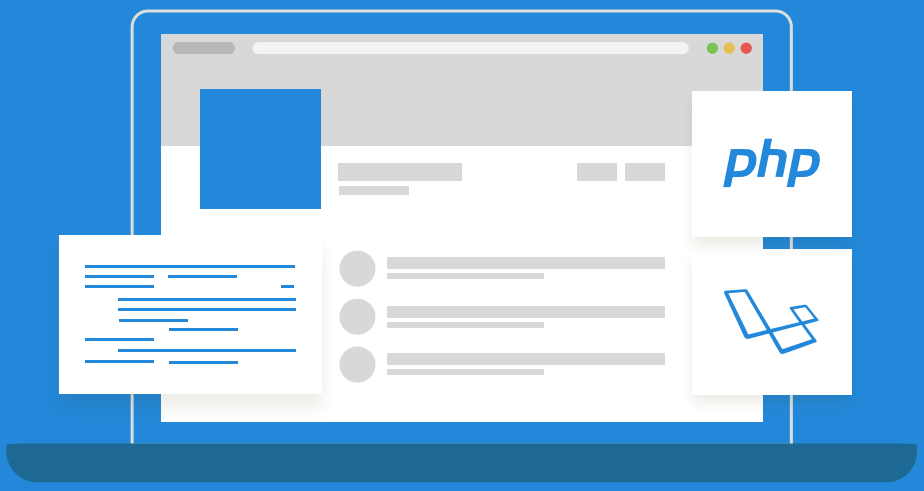
5. اكتب دالتين لحساب جيب Sin وجيب التمام Cosin لقيمة ما، واختر أنواعًا مناسبة للقيم (كل من قيم الوسطاء والقيمة المُعادة)، وتوضح السلسلة أدناه طريقةً لتقريب الإجابة. يجب أن تعيد الدالة النتيجة عندما يكون الفرق بين قيمة الحد النهائي والقيمة الحالية للدالة هو 0.000001.

```
sin x = x - pow(x,3)/fact(3) + pow(x,5)/fact(5)...
cos x = 1 - pow(x,2)/fact(2) + pow(x,4)/fact(4)...
```

لاحظ أن الإشارة قبل كل حد متناوبة على النحو `--+--+--+...`، وتُعيد الدالة `pow(x,n)` قيمة `x` بأُس `n`، وتُعيد الدالة `fact(n)` قيمة `n` عاملي (أي 1 × 2 × 3 × ... × `n`).

عليك كتابة هذه الدوال بنفسك، ومن ثم التأكُّد من عملها بفحص النتيجة النهائية.

# دورة تطوير تطبيقات الويب
# باستخدام لغة PHP




## مميزات الدورة

- بناء معرض أعمال قوي بمشاريع حقيقية
- وصول مدى الحياة لمحتويات الدورة
- تحديثات مستمرة على الدورة مجانًا
- شهادة معتمدة من أكاديمية حسوب
- إرشادات من المدربين على مدار الساعة
- من الصفر دون الحاجة لخبرة مسبقة

**اشترك الآن**

# 5. المصفوفات Arrays والمؤشرات Pointers

## 5.1 تمهيد الفصل

### 5.1.1 ما أهمية هذا الفصل؟

استعرضنا سابقًا أنواع البيانات الحسابية والعوامل في لغة سي C، وقد كانت لافتةً للانتباه ولكنها غير مثيرةٍ للاهتمام، إذ وضّح لنا الجزء السابق رونق لغة سي المميّز وما الـذي يجب علينـا توقعـه بالمضـيّ قـدمًا من هـذه اللغة، ولكن تعدّ هذه الأشياء بمثابة التوابل للطبق الرئيسي وليس الطبق بحد ذاته. ينظر بعض مستخدمي اللغـة للدوال functions والأجزاء الأخرى التي سنغطّيها في هذا الفصل بكونها أساسًا للغة سي.

سيتسبب هذا الجزء للقـارئ الجديـد بالمشـكلات الأكـبر، فبينمـا يـألف المبتـدئون في لغـة سـي اسـتخدام العمليات الحسابية والدوال والمصفوفات، تظهر لهم المشـكلات عنـد اسـتخدام الأنـواع المُهيكلـة Structured types، مثل الهياكل Structures والاتحادات Unions، إضافةً إلى المؤشرات التي تتميز بها لغة سي.

لا يمكنك تجاهل استخدام المؤشرات ببساطة، إذ إنها مستخدمةٌ في كل مكان، وتؤثر على اللغـة ككُـل وهي الميزةُ الوحيدة المُلاحظة في جميع برامج سي مهما بلغت بساطتها. إذا اعتقدت أن هذا الجزء من الكتـاب يمكن تخطيه لأنه صعب ولا يبدو مهمًّا للغايـة فـأنت مخطئ، إذ أن معظم الأمثلـة الـتي استعرضـناها ضـمن الكتـاب تستخدم المؤشرات (بصورةٍ غير واضحة في بعض الأحيان)، لذا فإن فهم عمل المؤشرات ضروريّ لإتقـان اللغـة، تقبّل هذا الأمر وابدأ بتعلمه.

علينـا النظـر أوّلًا إلى المصـفوفات إذا أردنـا تقـديم مفهـوم المؤشـرات على نحـوٍ يسـهل فهمـه، إذ يتـداخل المفهومين السابقين عميقًا ببعضهما في لغـة C ومن الصـعب الفصـل بينهمـا. سـنفترض معرفتـك المسـبقة بمفهوم المصفوفات وسنتطرق إليها بصورةٍ بسيطة بقصد توضيح استخدام المؤشرات كما سنرى لاحقًا.

### 5.1.2 تأثير لغة سي المعيارية

كان للمعيار الجديد تأثير ضئيل على محتويات هذا الفصل، ومعظم محتوياته ستكون مماثلةً فيما لو كنا نتكلّم عن لغة سي القديمة، وذلك لعدم وجود أي اختلاف عن الإصدار القديم من اللغة بهذا الشأن، ولم يكُن هناك أي جدوى من التعديل على ما يعمل على نحوٍ جيد، ولعلّ معرفة هذا ستطمئن مستخدمي لغة سي القديمة ولجنة معيار سي، الذين لم يجدوا أي خطأ بخصوص هذا الجزء من اللغة.

بالرغم من ذلك، تضيف **الأنواع المؤهّلة Qualified types** بعضًا من التعقيد على هذا الفصل، إذ كنا قد وضّحنا سابقًا القوانين المختلفة التي تصف سلوك العوامل العلاقيّة relational operators والعوامل الحسابية arithmetic operators عند استخدامها مع المؤشرات بفقرة نصية طويلة، ولكن هذه القوانين لم تتغير كثيرًا في المعيار الجديد، ولم نولِّ الكثير من الاهتمام لهذه القوانين في أمثلتنا السابقة، إذ حاولنا تقديمها بصورةٍ بسيطة في بادئ الأمر وشرحها عندما تستدعي الحاجة فقط.

## 5.2 المصفوفات Arrays

تستخدم لغة سي المصفوفات Arrays مثل سائر اللغات الأخرى لتمثيل مجموعة من متغيرات ذات خصائص متماثلة، إذ يكون لهذه المجموعة اسمًا واحدًا وتُحدّد عناصرها عن طريق **دليل Index**. إليك مثالًا للتصريح عن مصفوفةٍ ما:

```
double ar[100];
```

في هذا المثال اسم المصفوفة هو `ar` ويمكن الوصول لعناصر المصفوفة عن طريق دليل كلٍّ منها كما يلي: `ar[0]` وصولًا إلى `ar[99]` لا غير، كما يوضح الشكل 2:

| ar[0] | ar[1] | . . . | ar[99] |
|---|---|---|---|

الشكل 2: مصفوفة ذات 100 عنصر

يمثّل كلّ عنصر من عناصر المصفوفة المئة متغيّرًا منفصلًا من نوع `double`، ويُرمز لكل عنصر من أي مصفوفة في لغة سي بدءًا من الدليل `0` وصولًا إلى الدليل الذي يساوي حجم المصفوفة المُصرّح عنه ناقص واحد، ويعدّ البدء بالترقيم من `0` مفاجئًا لبعض المبتدئين فركّز على هذه النقطة.

عليك أن تنتبه أيضًا إلى أن المصفوفات لا تقبل حجمًا متغيّرًا عند التصريح عنها، إذ يجب أن يكون الرقم تعبيرًا ثابتًا يمكن معرفة قيمته الثابتة وقت تصريف البرنامج compile time وليس وقت التشغيل run time.
يوضح المثال التالي طريقة خاطئة للتصريح عن مصفوفة باستخدام الوسيط `x`:

```
f(int x){
```

```
        char var_sized_array[x];        /* هذه الطريقة ممنوعة */
}
```

وهذا ممنوع لأن قيمة `x` غير معروفة عند تصريف البرنامج، فهي قيمة تُعرف عند تشغيل البرنامج وليس عند تصريفه.

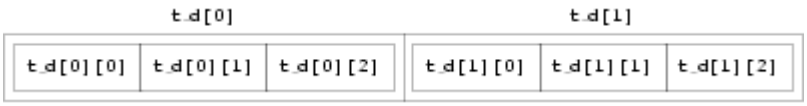
من الأسهل لو كان مسموحًا استخدام المتغيرات لتحديد حجم المصفوفات وبالأخص البعد **الأوّل** لها، ولكن هذا الأمر لم تسمح به سي القديمة أو سي المعيارية، إلا أن هناك مصرّف قديم جدًا للغة سي اعتاد السماح بهذا.

## 5.2.1 المصفوفات متعددة الأبعاد

يمكن التصريح عن المصفوفات متعددة الأبعاد Multidimensional arrays على النحو التالي:

```
int three_dee[5][4][2];
int t_d[2][3]
```

تُستخدم الأقواس المعقوفة بعد كلٍّ من المصفوفات السابقة، وإذا نظرت إلى جدول الأسبقية في فصل العوامل في لغة سي C، فستلاحظ أن قراءة القوسين `[]` تكون من اليسار إلى اليمين وبذلك تكون نتيجة التصريح مصفوفةً تحتوي على خمس عناصر باسم `three_dee`، ويحتوي كل عنصر من عناصر هذه المصفوفة بدوره على مصفوفة بحجم أربعة عناصر وكل عنصر من هذه المصفوفة الأخيرة يحتوي على مصفوفة من عنصرين، وجميع العناصر من نوع `int`، وبهذه الحالة فنحن صرحنا عن مصفوفة مصفوفات، ويوضح الشكل 3 مثالًا على مصفوفة ثنائية البعد باسم `t_d` في مثال التصريح.




الشكل 3: هيكل مصفوفة ثنائية البعد

ستلاحظ في الشكل السابق أن `t_d[0]` عنصرٌ واحدٌ متبوعٌ بعنصر `t_d[1]` دون أي فواصل، وكلا العنصرين يمثّلان مصفوفةً بحدّ ذاتهما بسعة ثلاث أعداد صحيحة. يأتي العنصر `t_d[1][0]` مباشرةً بعد العنصر `t_d[0][2]`، ومن الممكن الوصول إلى `t_d[1][0]` بالاستفادة من عدم وجود أي طريقة للتحقق من حدود المصفوفة باستخدام التعبير `t_d[0][3]` إلا أن هذا غير محبّذ أبدًا، لأن النتائج ستكون غير متوقعة إذا تغيّرت تفاصيل التصريح عن المصفوفة `t_d`.

حسنًا، لكن هل هذا الأمر يؤثر على سلوك البرنامج عمليًّا؟ في الحقيقة لا، إلا أنه من الجدير بالذكر أن موقع تخزين العنصر الواقع على أقصى اليمين ضمن المصفوفة "يتغير بسرعة"، ويؤثر ذلك على المصفوفات عند استخدام المؤشرات معها، ولكن يمكن استخدامها بشكلها الطبيعي عدا عن تلك الحالة، مثل التعابير التالية:

```
three_dee[1][3][1] = 0;
three_dee[4][3][1] += 2;
```

التعبير الأخير مثيرٌ للاهتمام لسببين، أولهما أنه يصل إلى قيمة العنصر الأخير من المصفوفة والمصرّح أنها بحجم `[5][4][2]`، والدليل الذي نستطيع استخدامه هو أقل بواحد دائمًا من العدد الذي صرّحنا عنه، أما ثانيًا، فنلاحظ أهمية وسهولة استخدام عامل الإسناد المُركّب في هذه الحالة. يفضّل مبرمجو لغة سي المتمرسون هذه الطريقة المختصرة، إليك كيف سيبدو الأمر لو كان التعبير مكتوبًا بلغة أخرى لا تسمح باستخدام هذا العامل:

```
three_dee[4][3][1] = three_dee[4][3][1] + 2;
```

ففي هذه الحالة يجب أن يتحقق القارئ أن العنصر على يمين عامل الإسناد هو ذات العنصر على يسار عامل الإسناد، كما أن الطريقة المُختصرة أفضل عند تصريفها، إذ يُحسب دليل العنصر وقيمته مرةً واحدة، مما ينتج شيفرةً برمجيةً أقصر وأسرع. قد ينتبه بعض المصرّفات طبعًا إلى أن العنصرين على طرفَي عامل الإسناد متساويين ولن تلجأ للوصول للقيمة مرتين، ولكن هذه الحالة لا تنطبق على جميع المصرّفات، وهناك العديد من الحالات أيضًا التي لا تستطيع فيها المصرفات الذكية هذه باختصار الخطوات.

على الرغم من تقديم لغة سي دعمًا للمصفوفات متعددة الأبعاد، إلا أنه من النادر أن تجدها مُستخدمةً عمليًّا، إذ تُستخدم المصفوفات أحادية البعد أكثر في معظم البرامج، وأبسط هذه الأسباب هو أن السلسلة النصية String تُمثّل بمصفوفة أحادية البعد، وقد تلاحظ استخدام المصفوفات ثنائية البعد في بعض الحالات، ولكن استخدام المصفوفات ذات أبعاد أكثر من ذلك نادرة الحدوث، وذلك لكون المصفوفة هيكل بيانات غير مرن بالتعامل، كما أن سهولة عملية إنشاء ومعالجة هياكل البيانات وأنواعها في لغة سي تعني إمكانية استبدال المصفوفات في معظم البرامج متقدمة المستوى، وسننظر إلى هذه الطرق عندما ننظر إلى المؤشرات.

## 5.3 المؤشرات Pointers

يشابه استخدام المؤشرات Pointers في لغة سي عملية تعلُّم قيادة الدراجة الهوائية، فعندما تصل إلى النقطة التي تعتقد أنك لن تتعلمها أبدًا، تبدأ بإتقانها، وبعد أن تتعلمها سيكون من الصعب نسيانها. لا يوجد هناك أي شيء مميّز بخصوص المؤشرات، ونعتقد أن معظم القرّاء يعرفون عنها مسبقًا، وفي الحقيقة، واحدةٌ من ميزات لغة سي هي اعتمادها الكبير على استخدام المؤشرات مقارنةً باللغات الأخرى، إضافةً إلى الأشياء الأخرى الممكن إنجازها بواسطة المؤشرات بسهولة ودون قيود إلى حدٍّ ما.

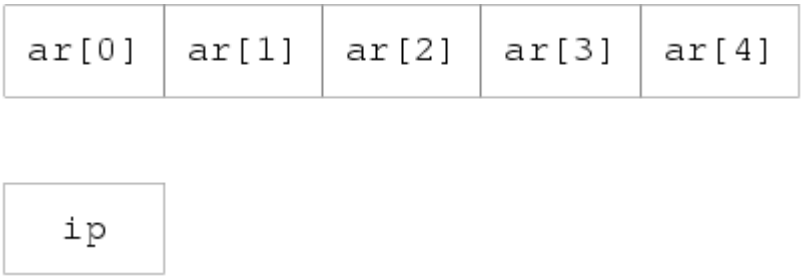
### 5.3.1 التصريح عن المؤشرات

ينبغي التصريح عن المؤشرات قبل استخدامها بصورةٍ مماثلة لأي متغير آخر تعاملنا معه مسبقًا. يتشابه التصريح عن المؤشر مع أي تصريح آخر، ولكن هناك نقطة مهمّة، إذ تدلّ الكلمة المفتاحية عند التصريح عن المؤشر في البداية، مثل `int` أو`char` وغيرها عن نوع المتغير الذي سيشير المؤشر إليه، وليس نوع المؤشر

بذات نفسه، ويشير المؤشّر على قيمة واحدة كل مرة من ذلك النوع وليس جميع القيم من النوع ذاته. إليك مثالًا يوضح التصريح عن مصفوفة ومؤشر:

```
int ar[5], *ip;
```

يصبح لدينا بعد التصريح مصفوفة ومؤشر، كما يوضح الشكل 4:




الشكل 4: مصفوفة ومؤشر

يوضح الرمز * الموجود أمام ip أن هذا مؤشر، وليس متغيرًا اعتياديًا، وهو مؤشرٌ من النوع pointer to int، أي يشير إلى قيمة من نوع int فقط، لكن لم تُسند له قيمة أوليّة بعد، ولا يمكننا استخدامه في هذه الحالة قبل أن نجعله يؤشّر على قيمةٍ ما. لاحظ أنه لا يمكنك تعيين قيمةٍ من نوع int فورًا، لأن القيم الصحيحة لها النوع int ونحن نريد هنا قيمةً من نوع "مؤشر إلى نوع صحيح pointer to int". لكن، ما الذي سيشير إليه ip في هذه الحالة إذا كانت التعليمة التالية صحيحة؟

```
ip = 6;
```

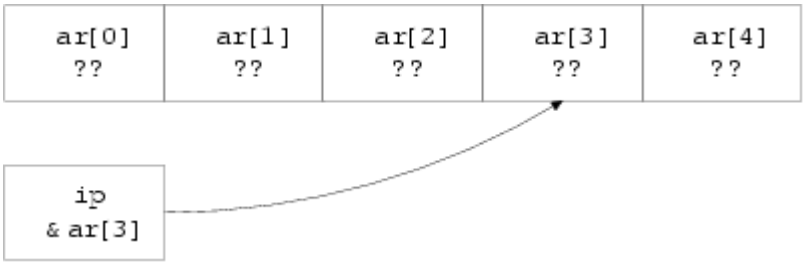
قد تختلف الإجابة هنا، ولا يوجد إجابةً واحدةً عمّا قد يشير إليه ip، ولكن خلاصة الأمر أن هذا النوع من الإسناد غير صحيح في لغة سي.

إليك الطريقة الصحيحة لإسناد قيمة أولية لمؤشر ما:

```
int ar[5], *ip;
ip = &ar[3];
```

يؤشّر المؤشر في هذا المثال إلى عنصرٍ من المصفوفة ar بدليل 3، أي العنصر الرابع من المصفوفة.

> يمكنك إسناد القيم إلى المؤشرات كما في أي متغير اعتدت عليه، ولكن تكمن الأهمية في نوع هذه القيمة وما الذي تعنيه. يدل الشكل 5 على قيم المتغيرات الموجودة بعد التصريح، ويدل ?? على كون المتغير غير مُسند لقيمة أولية أي غير مهيَّأ.




الشكل 5: مصفوفة ومؤشر مهيّأ

نلاحظ أن قيمة المتغير `ip` مساوية لقيمة التعبير `&ar[3]`، ويشير السهم إلى أن المؤشر `ip` يشير إلى المتغير `ar[3]`.

لكن ما الذي يعنيه العامل الأحادي `&`؟ يُشار إلى هذا العامل بكونه عامل "عنوان المتغير"، إذ أن المؤشرات تخزّن عنوان المتغير الذي تؤشّر عليه في معظم الأنظمة. ربّما ستواجه صعوبةً بخصوص هذا الأمر إذا كنت تفهم ما نعني هنا بالعنوان مقارنةً بالأشخاص الذين لا يفهمون هذا الأمر، إذ أن التفكير بالمؤشرات كونها عناوينًا يؤدي إلى كثيرٍ من المشاكل في الفهم.

قد تكون عملية التلاعب بعناوين معالج "أ" مستحيلةً على متحكّم آلة غسيل من نوع "ب" يستخدم عناوينًا بسعة 17-بِت عندما تكون في طور الغسيل، ويقلب ترتيب البِتات الزوجية والفردية عندما ينفد من مسحوق الغسيل. من المستبعد **لأي أحد** أن يستخدم لغة سي بمعمارية مشابهة لمثالنا السابق، ولكن هناك بعض الحالات الأخرى والأقل شدّة التي قد **يمكن** تشغيل لغة سي على معماريتها.

لكننا سنتابع استخدام الكلمة "عنوان المتغير"، لأن استخدام مصطلح أو كلمة مغايرة لذلك سيتسبب بمزيدٍ من المشكلات.

يعيد تطبيق العامل `&` لمعامل ما مؤشّرًا لهذا المعامل:

```
int i;
float f;
      /* مؤشر إلى عدد صحيح '&i' */
      /* مؤشر إلى عدد حقيقي '&f'*/
```

وسيشير المؤشر في كل حالة إلى الكائن الذي يوافق اسمه اسم المستخدم في التعبير.

المؤشر مفيدٌ فقط في حال وجود طريقة للوصول إلى الشيء الذي يشير إليه، وتستخدم لغة سي العامل الأحادي `*` لتحقيق ذلك؛ فإذا كان `p` من نوع "مؤشر إلى نوعٍ ما pointer to something"، فيشير التعبير `*p` إلى الشيء الذي يشير إليه ذلك المؤشر. على سبيل المثال، نتبع مايلي للوصول إلى المتغير `x` باستخدام المؤشر `p`:

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main(){
      int x, *p;

      p = &x;         //تهيئة المؤشر
     *p = 0;          //  x إسناد القيمة 0 إلى المتغير
     printf("x is %d\n", x);
      printf("*p is %d\n", *p);

      *p += 1;         /* زيادة القيمة التي يشير إليها المؤشر */
      printf("x is %d\n", x);

      (*p)++;          /* زيادة القيمة التي يشير إليها المؤشر */
      printf("x is %d\n", x);

      exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 1]

من الجدير بالذكر معرفة أن استخدام التركيب المؤلف من & و * بالشكل &* يلغي تأثير كلٍّ منهما، لأن & تعيد عنوان الكائن أي قيمة مؤشّره، و* تعني "القيمة التي يشير إليها المؤشر". لكن انتبه، فليس لبعض الأشياء مثل الثوابت أي عنوان، وبذلك لا يمكن تطبيق العامل & عليها، والتعبير &1.5 ليسَ مؤشّرًا بل تعبيرًا خاطئًا. من المثير للانتباه أيضًا إلى أن لغة سي من اللغات القليلة التي تسمح بوجود تعبير على الجانب الأيسر من عامل الإسناد. انظر مجدّدًا إلى المثال؛ إذ نصادف التعبير *p مرتين، ومن ثم التعليمة (*p)++; المثيرة للاهتمام، وستثير هذه التساؤلات من معظم المبتدئين حتى لو استطعت فهم أن التعليمة *p = 0 تسند القيمة 0 إلى المتغير المُشار إليه بواسطة المؤشر p، وأن التعليمة *p += 1 تضيف واحدًا إلى المتغير المُشار إليه بالمؤشر p، فاستخدام العامل ++ مع *p يبدو صعب الفهم قليلًا.

تستحق أسبقية التعبير (*p)++ النظر إليها بدقة، وسنناقش مزيدًا من التفاصيل بهذا الخصوص، ولكن دعونا نركّز عمّا يحدث في هذا المثال تحديدًا. تُستخدم الأقواس للتأكد بأن * تُطبَّق على p فقط، ومن ثم تحدث زيادةً بمقدار واحد على الشيء المُشار إليه بالمؤشر p، وبالنظر إلى جدول الأسبقية في فصل العوامل في لغة سي C نلاحظ أن للعاملين ++ و* الأسبقية ذاتها، ولكن العاملين يرتبطان من اليمين إلى اليسار، وبمعنى آخر تصبح العملية بالتخلص من الأقواس مكافئةً للعملية *(p++)، وبغض النظر عن معنى هذه العملية (التي سنتكلم عن معناها لاحقًا)، لا بُدّ من الحفاظ على الأقواس في هذه الحالة والانتباه إلى مواضعها الصحيحة.

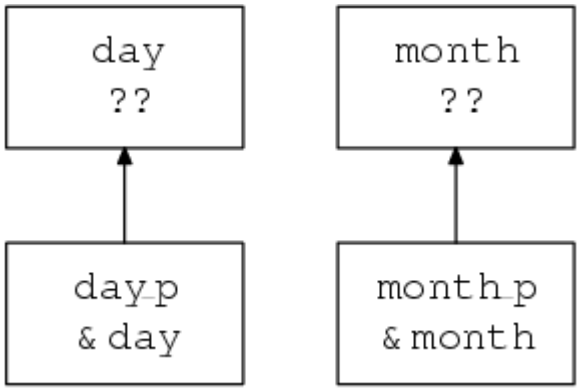
لذا، وبما أن المؤشر يعطي عنوان الشيء الذي يشير إليه، فاستخدام `*pointer` (إذ أن `pointer` هو أيضًا مؤشر) يعيد الشيء بذاته مباشرةً، ولكن ما الذي نستفيد من ذلك؟ أول الأمور التي نستفيد منها هي تجاوز قيد الاستدعاء بالقيمة call-by-value عند استخدام الدوال؛ فعلى سبيل المثال تخيل دالةً تعيد قيمتين ممثلتين بأعداد صحيحة تمثّل الشهر واليوم لهذا الشهر، وأن لهذه الدالة طريقةً (غير محددة) لتحديد هذه القيم، والتحدي هنا هو إعادة قيمتين منفصلتين بنفس الوقت. إليك طريقةً لتجاوز هذه العقبة بالمثال:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
void
date(int *, int *);      /* التصريح عن الدالة */

main(){
      int month, day;
      date (&day, &month);
      printf("day is %d, month is %d\n", day, month);
      exit(EXIT_SUCCESS);
}

void
date(int *day_p, int *month_p){
      int day_ret, month_ret;
      /*حساب قيمة day و month في day_ret و month_ret*/
      *day_p = day_ret;
      *month_p = month_ret;
}
```

[مثال 2]

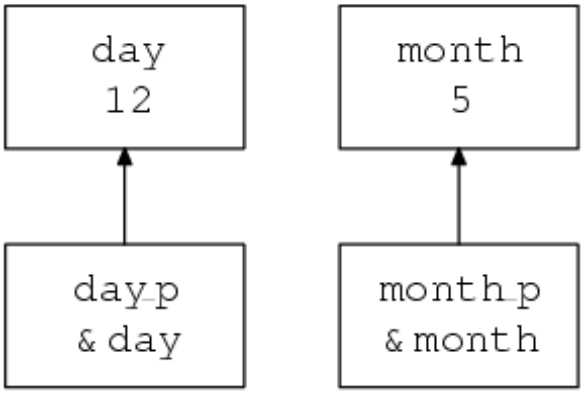
لاحظ طريقة التصريح عن `date` المتقدمة، التي توضح أنها دالةٌ تأخذ وسيطين من نوع "مؤشر إلى قيمة من نوع `int`"، وتعيد `void` لأن القيم التي تُمرّر بواسطة المؤشرات ليست من نوع قيمة اعتيادية. تمرِّر الدالة `main` المؤشرات إلى الدالة `date` على أنها وسطاء باستخدام المتغيرات الداخلية `day_ret` و `month_ret`، ومن ثم تأخذ قيمتهما وتسندها إلى الأماكن التي تشير إليها وسطاء الدالة (المؤشرات).

يوضح الشكل 6 ما الذي يحدث عند استدعاء الدالة `date`:




الشكل 6: عند استدعاء الدالة `date`

تُمرَّر الوسطاء إلى `date`، ولكن المتغيرين `day` و `month` غير مهيّأين بقيمةٍ أولية ضمن الدالة `main`. يوضح الشكل 7 ما الذي يحدث عندما تصل الدالة `date` إلى تعليمة `return`، بفرض أن قيمة `day` هي "12" وقيمة `month` هي "5".




الشكل 7: عندما تصل الدالة `date` إلى تعليمة `return`

واحدةٌ من المزايا الرائعة التي قدّمتها لغة سي المعيارية هي السماح بالتصريح عن أنواع وسطاء دالة `date` مسبقًا، إذ كان نسيان أن الدالة تقبل مؤشرات وسطاءً لها وتمرير نوع آخر أمرًا شائع الحدوث. تخيل استدعاء الدالة `date` دون أي تصريح واضح مُسبقٍ لها على النحو التالي:

```
date(day, month);
```

لن يعرف المصرّف هنا أن الدالة تقبل المؤشرات وسطاء لها وستُمرر قيمًا من نوع `int` افتراضيًا لكل من `day` و `month`، وبما أن تمرير المؤشرات والأعداد الصحيحة يجري على معظم الحواسيب بالطريقة نفسها، لذا ستُنفَّذ الدالة في هذه الحالة، ثم تعيد القيم في النهاية وتسندها إلى المكان الذي يشير إليه كلًا من `day` و `month`، إذا كانا مؤشرين. لن يعطي ذلك أي نتيجة بل وربما يتسبب بضرر مفاجئ للبيانات في مكان آخر بذاكرة الحاسوب، وتعقُّب هذا النوع من الأخطاء صعبٌ جدًا.

لحسن الحظ، يمكن أن يعرف المصرّف المعلومات الكافية عن `date` بالتصريح عن الدالة مسبقًا، وذلك من شأنه أن يحذره بخصوص أي أخطاء مرتكبة.

قد يفاجئك سماع أن المؤشرات لا تستخدم كثيرًا لتمكين طريقة الاستدعاء بالإشارة call-by-reference، إذ يُعدّ استخدام الاستدعاء بالقيمة call-by-value وإعادة قيمة واحدة باستخدام `return` كافٍ في معظم الحالات، والاستخدام الأكثر شيوعًا للمؤشرات هو الانتقال ما بين المصفوفات.

## 5.3.2 المصفوفات والمؤشرات

تملك عناصر المصفوفة عناوينًا مثل أي متغير اعتيادي آخر.

```
int ar[20], *ip;

ip = &ar[5];
*ip = 0;        // ar[5] = 0; يكافئ التعبير
```

في المثال السابق، يُخزَّن عنوان العنصر `ar[5]` في المؤشر `ip`، ثم تُسند القيمة صفر إلى موضع المؤشر في السطر الذي يليه. هذا الشيء غير مثير للإعجاب بحد ذاته، بل إن طريقة عمل العمليات الحسابية والمؤشر سويًّا هي التي تستدعي الاهتمام، فعلى الرغم من بساطة هذا الأمر، إلا أنه يُعد واحدًا من أساسات لغة سي المميزة.

نحصل على مؤشر إذا أضفنا قيمة عدد صحيح إلى مؤشر ما، ويكون للمؤشر الذي حصلنا عليه نفس نوع المؤشر الأصلي؛ فبإضافة العدد "n" إلى مؤشر ما يشير إلى عنصر في مصفوفة، سنحصل على عنصر يشير إلى العنصر الذي يلي العنصر السابق بمقدار "n" داخل المصفوفة ذاتها، ويمكن تطبيق حالة الطرح بما أن العدد "n" يمكن أن يكون سالبًا. بالرجوع إلى المثال السابق، ينتج عن التعبير التالي:

```
*(ip+1) = 0;
```

تغيير قيمة `ar[6]` إلى صفر، وهكذا. لا تعدّ هذه الطريقة تحسينًا على طرق الوصول إلى عناصر المصفوفة الاعتيادية، إليك مثالًا عن ذلك بدلًا من السابق:

```
int ar[20], *ip;

for(ip = &ar[0]; ip < &ar[20]; ip++)
      *ip = 0;
```

يوضّح المثال السابق ميزةً كلاسيكيةً للغة سي، إذ يشير المؤشر إلى بداية المصفوفة، وبينما يشير المؤشر إلى المصفوفة يمكن الوصول إلى عناصر المصفوفة واحدًا تلو الآخر بزيادة المؤشر بمقدار واحد كلّ مرة. يدعم

معيار سي بعض الممارسات الموجودة وذلك بالسماح لاستخدام **عنوان** العنصر `ar[20]` على الرغم من عدم وجود هذا العنصر، ويسمح لك هذا باستخدام المؤشرات لاختبار حدود المصفوفة ضمن الحلقات التكرارية كما هو الحال في المثال السابق، إذ أن ضمان عمله يمتد لعنصر واحد فقط خارج نهاية المصفوفة وليس أكثر من ذلك.

لكن ما المميز في هذه الطريقة مقارنةً باستخدام دليل المصفوفة للوصول إلى العنصر بالطريقة الاعتيادية؟ يمكن الوصول إلى عناصر المصفوفات في معظم الحالات بالتعاقب، واستعرضت القليل من الأمثلة البرمجية السابقة خيار الوصول إلى العناصر "عشوائيًا". إذا أردت الوصول إلى عناصر المصفوفة بالتعاقب فسيقدّم استخدام المؤشرات تنفيذًا أسرع، إذ يتطلب الأمر على معظم معماريات الحاسوب عملية ضرب وجمع واحدةً للوصول إلى عنصر ضمن مصفوفة أحادية البعد باستخدام دليله، بينما لا يتطلب الأمر باستخدام المؤشرات إجراء أي عمليات حسابية إطلاقًا، إذ يخزن المؤشر العنوان الدقيق للكائن (عنصر المصفوفة في هذه الحالة). العملية الحسابية الوحيدة المُجراة في المثال السابق هي ضمن حلقة `for` التكرارية، إذ تحدث عملية إضافة ومقارنة كل دورة داخل الحلقة. إذا أردنا استخدام طريقة الوصول لعناصر المصفوفة باستخدام الأدلة، نكتب:

```
int ar[20], i;
for(i = 0; i < 20; i++)
      ar[i] = 0;
```

تحدث العمليات الحسابية ذاتها في الحلقة التكرارية كما في المثال السابق، لكن بإضافة حسابات العنوان المُجراة كل دورة في الحلقة.

لا تعدّ نقطة توفير الوقت والفاعلية مشكلةً كبيرةً في معظم الأحيان، إلا أن الأمر مهمٌ هنا في حالة الحلقات التكرارية، إذ تتكرر الحلقات عددًا كبيرًا من المرات وكل جزء من الثانية يمكن توفيره في كل دورة له تأثير، ولا يستطيع المصرّف مهما كان ذكيًّا التعرُّف على جميع الحالات التي يمكن له استخدام المؤشرات بدلًا من طريقة دليل المصفوفة ضمنيًا.

إذا استوعبت جميع ما قرأته حتى الآن فتابع معنا، وإلّا فتجاوز هذا القسم واذهب للفصل التالي، فعلى الرغم من المعلومات المثيرة للاهتمام في الأقسام التالية إلا أنها غير ضرورية وتُعرَف برهبتها لمبرمجي لغة سي المتمرسين حتى.

في حقيقة الأمر، لا "تفهم" لغة سي مبدأ الوصول لعناصر المصفوفة باستخدام أدلتها (باستثناء نقطة التصريح عن المصفوفة)، فالتعبير `x[n]` يُترجم بالنسبة للمصرّف على النحو التالي: `*(x+n)`، إذ يُحوَّل اسم المصفوفة إلى مؤشر يشير إلى العنصر الأول للمصفوفة وذلك أينما وجد اسم المصفوفة ضمن تعبير ما. يُعد هذا سببٌ من ضمن أسباب أخرى لبدء عناصر المصفوفة بالرقم صفر؛ فإذا كان `x` اسم المصفوفة، سيكون التعبير `&x[0]` مساوٍ للمصفوفة `x`، أي مؤشر إلى العنصر الأول من المصفوفة.

نستطيع الوصول إلى `x[0]` باستخدام المؤشرات باستخدام التعبير `*(&x[0])`، مما يعني أن `*(&x[0] + 5)` مساوٍ للتعبير `*(x + 5)` وهو ذات التعبير `x[5]`. يفتح ذلك الأمر سيلًا من التساؤلات عن الإمكانيات الناتجة، فإذا كان التعبير `x[5]` يُترجم إلى `*(x + 5)` والتعبير `x + 5` يعطي النتيجة ذاتها للتعبير:

```
+ x
```

فالتعبير `5[x]` مساوٍ للتعبير `x[5]`. إليك برنامجًا يُصرّف وينفذ دون أي أخطاء إن لم تصدق هذا الأمر:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define ARSZ 20
main(){
	int ar[ARSZ], i;
	for(i = 0; i < ARSZ; i++){
		ar[i] = i;
		i[ar]++;
		printf("ar[%d] now = %d\n", i, ar[i]);
	}

	printf("15[ar] = %d\n", 15[ar]);
	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 3]

لتلخيص ما سبق:

- تبدأ العناصر في أي مصفوفة من الدليل ذي الرقم صفر.
- ليس هناك أي وجود للمصفوفات متعددة الأبعاد، بل هي في حقيقة الأمر مصفوفاتٌ تحتوي على مصفوفات.
- تُشير المؤشرات إلى أشياء، والمؤشرات التي تشير إلى أشياء من أنواع مختلفة هي بدورها من أنواع مختلفة أيضًا ولا يوجد أي تشابه بين الأنواع المختلفة في لغة سي وأي تحويل ضمني تلقائي بينهما.
- يمكن استخدام المؤشرات لمحاكاة استخدام الاستدعاء بالإشارة ضمن الدوال، ولكن الأمر يستغرق بعضًا من الجهد لتحقيقه.
- تُستخدم زيادة أو نقصان قيمة مؤشر ما للتنقل بين عناصر المصفوفة.

- يضمن المعيار أن محاولة الوصول إلى العنصر ذي الدليل "n" في مصفوفة ذات حجم "n" محاولةٌ صالحة على الرغم من عدم وجود هذا العنصر وذلك لتسهيل أمر التنقل داخل المصفوفة بزيادة قيمة المؤشر، ويكون مجال قيم مصفوفة مصرّح عنها على النحو `int ar[N]` هو `&ar[0]` وصولًا إلى `&ar[N]` ولكن يجب عليك تفادي الوصول إلى قيمة العنصر الأخير الزائف.

### 5.3.3 الأنواع المؤهلة Qualified

تابع قراءة الفقرات التالية إن كنت واثقًا من فهمك لأساسيات عملية التصريح عن المؤشرات واستخدامها، وإلا فمن المهم العودة إلى الفقرات السابقة ومحاولة فهمها جيّدًا قبل قراءة الفقرات التالية، إذ أن المعلومات المذكورة في الفقرات التالية أكثر تعقيدًا، ولا داعٍ لجعل الأمر أسوأ بعدم تحضيرك وفهمك لما سبق.

قدم المعيار شيئان باسم **مؤهلات النوع type qualifiers**، إذ لم يكونا في لغة سي القديمة مسبقًا، ويمكن تطبيقهما لأي نوع مصرّحٌ عنه للتعديل من تصرفه، ومن هنا أتى اسمهما. سنتجاهل إحداهما (المدعو باسم "volatile") إلا أنه لا يمكننا تجاهل الآخر "const".

إذا سبقت الكلمة المفتاحية "const" أي تصريح، فهذا يعني أن الشيء الذي صُرّح عنه هو ثابت، ويجب عليك تجنب محاولة التغيير على قيمة الكائنات الثابتة "const" وإلا فستحصل على سلوك غير محدّد undefined behaviour، وسيحذّرك المصرّف عادةً بمنعك من هذه المحاولة إلا إذا تجاوزت هذا القيد بحيلةٍ ما.

هناك فائدتان مرجوتان من تصريح كائن ما بكونه ثابتًا "const":

1. يشير استخدام الكلمة المفتاحية "const" إلى أن القيمة غير قابلة للتغيير، مما يجبر المصرّف على التحقق من أي تغييرات طرأت على هذه القيمة ضمن الشيفرة البرمجية، وهذا الأمر باعث للطمأنينة في حال أردت استخدام قيمٍ ثابتة، مثل المؤشرات التي تُستخدم وسطاء في بعض الدوال. إذا احتوى التصريح عن الدالة مؤشرات تشير إلى كائنات ثابتة على أنها وسطاء، فهذا يعني أن الدالة لن تشير إلى أي كائن آخر.
2. عندما يعلم المصرّف بأن الأشياء هي كائنات ثابتة، ينعكس ذلك إيجابيًا على قدرته برفع فاعلية الشيفرة البرمجية وسرعتها.

الثوابت عديمة الفائدة في حال لم تسند إليها أي قيمة، لن نتطرق بالتفصيل بخصوص تهيئة الثوابت (سنناقش الأمر لاحقًا)، كل ما عليك تذكره الآن هو أنه من الممكن لأي تصريح إسناد القيمة لتعبيرٍ ثابت. إليك بعض الأمثلة عن التصريح عن ثوابت:

```
const int x = 1;        /* ثابت x */
const float f = 3.5;    /* ثابت f*/
```

```
const char y[10];       /* y مصفوفة من 10 عناصر ذات قيم صحيحة ثابتة */
                        /* لا تفكر بخصوص تهيئة قيمها بعد */
```

ما يثير الاهتمام هو كون هذا المؤهل ممكن التطبيق على المؤشرات بطريقتين: إما بجعل الشيء الذي يشير إليه المؤشر ثابتًا، بحيث يصبح نوع المؤشر "مؤشر إلى ثابت"، أو بجعل المؤشر بذات نفسه ثابتًا (مؤشرًا ثابتًا)، إليك مثالًا عن ذلك:

```
int i;                  /* i عدد صحيح اعتيادي */
const int ci = 1;       /* ci عدد صحيح ثابت */
int *pi;                /* pi مؤشر إلى عدد صحيح */
const int *pci;         /* pci مؤشر إلى عدد صحيح ثابت */
      /* بالانتقال إلى الأمثلة الأكثر تعقيدًا */

// cpi مؤشر ثابت يشير إلى قيمة عدد صحيح
int *const cpi = &i;

// cpci مؤشر ثابت يشير إلى قيمة عدد صحيح ثابتة
const int *const cpci = &ci;
```

التصريح الأول (للمتغير `i`) اعتيادي، ولكن تصريح `ci` يوضح أنه عدد صحيح ثابت وبذلك لا يمكن التعديل على قيمته، وسيكون بلا فائدة إن لم يُهيّأ (إسناد قيمة أولية له).

ليس من الصعب فهم الغرض من مؤشر لعدد صحيح، ومؤشر لعدد صحيح ثابت، ولكن يجب الانتباه إلى أنواع المؤشرات المختلفة، إذ لا يجوز الخلط بينهم. يمكنك تغيير قيمة كل من `pi` و `pci` بجعلهما يشيران إلى أشياء أخرى، كما يمكنك تغيير قيمة الشيء الذي يشير إليه المؤشر `pi` بالنظر إلى كونه عدد صحيح غير ثابت، ولكن لا يمكنك إلّا الوصول إلى قيمة الشيء الذي يشير إليه المؤشر `pci` دون التعديل عليه نظرًا لكونه ثابتًا.

يُعد التصريحان الأخيران أكثر التصريحات تعقيدًا ضمن المثال؛ فإذا كانت المؤشرات بذات نفسها ثابتةً، فمن غير المسموح تغيير المكان الذي تشير إليه، وبالتالي يجب تهيئتهما بقيمة أولية مثل `ci`. يمكن للشيء المُشار إليه بالمؤشر أن يكون ثابتًا أو غير ثابت بغض النظر عن كون المؤشر ثابتًا بدوره أم لا، وهذا يملي بعض القيود على استخدام الكائن المُشار إليه.

أخيرًا للتوضيح: ما الذي يملي وجود نوع مؤهّل؟ كان `ci` في المثال السابق نوعًا مؤهلًا بكل وضوح، ولكن `pci` لم تنطبق عليه هذه الحالة بما أن المؤشر ليس من نوع مؤهّل بل الشيء الذي يشير إليه. الأشياء الوحيدة الذي كانت ذات أنواع مؤهلة في المثال هي: `ci` و `cpi` و `cpci`.

سيتطلب منك الأمر بعض الوقت للاعتياد على هذا النوع من التصريحات، ولكن استخدامها سيكون تلقائيًّا وطبيعيًا بعد فترة فلا تقلق، إلا أن التعقيدات تبدأ بالظهور لاحقًا عندما يتوجب عليك الإجابة على السؤال: "هل من المسموح لي -على سبيل المثال- مقارنة مؤشر اعتيادي مع مؤشر ثابت؟ وإذا كان الجواب نعم، ما الذي تعنيه المقارنة؟". معظم القوانين واضحة بهذا الخصوص، ولكن يجب ذكرها وتوضيحها بغض النظر عن سهولتها.

سنتكلم عن أنواع البيانات المؤهلة بتوسعٍ أكبر لاحقًا.

### 5.3.4 عمليات المؤشرات الحسابية

سنتكلم بالتفصيل لاحقًا عن عمليات المؤشرات الحسابية، ولكننا سنكتفي الآن بإصدار مختصرٍ يفي بالغرض.

يمكنك الطرح أو المقارنة بين مؤشرين من النوع نفسه بالإضافة إلى إضافة قيمة عددية صحيحة إلى المؤشر، ويجب أن يشير كلا المؤشرين إلى المصفوفة ذاتها وإلا حصلنا على سلوك غير محدد. نتيجة طرح مؤشرين هي قيمة العناصر التي تفصل بينهما في المصفوفة، ونوع النتيجة معرفٌ بحسب التطبيق وسيكون إما "short" أو "int" أو "long"، ويوضح المثال القادم مثالًا على حساب الفرق بين مؤشرين واستخدام النتيجة، ولكن قبل أن ننتقل إلى المثال يجب أن تعرف معلومةً مهمة.

**يُحوَّل اسم المصفوفة في أي تعبير إلى مؤشر يشير إلى العنصر الأول ضمن هذه المصفوفة**، والحالة الوحيدة الاستثنائية هي عند استخدام اسم المصفوفة مع الكلمة المفتاحية `sizeof`، أو عند استخدام سلسلة نصية لتهيئة قيمة مصفوفة ما، أو عندما يكون اسم المصفوفة مرتبطًا بعامل "عنوان الكائن" (العامل الأحادي &)، لكننا لم نتطرق إلى أيّ من الحالات السابقة بعد، وسنناقشها لاحقًا. إليك المثال:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define ARSZ 10

main(){
      float fa[ARSZ], *fp1, *fp2;

      fp1 = fp2 = fa; /* عنوان العنصر الأول */
      while(fp2 != &fa[ARSZ]){
            printf("Difference: %d\n", (int)(fp2-fp1));
            fp2++;
      }
      exit(EXIT_SUCCESS);
```

```
}
```

[مثال 4]

يشير المؤشر fp2 إلى عناصر المصفوفة، ويُطبع الفرق بين قيمته الحالية وقيمته الأصلية، وللتأكد من عـدم تمرير النوع الخاطئ للوسيط للدالة printf تُحوَّل القيمة الناتجة عن فرق المؤشرين قسـريًّا إلى int باسـتخدام تحويل الأنواع (int)، وهذا يجنّبنا من الأخطاء على الحواسيب التي تعيد قيمة long لهذا النوع من العمليات.

قد يعود إلينا المثال السابق بإجابات خاطئة إذا كان الفرق بين القيمتين من نـوع long وكـانت المصـفوفة كبيرة الحجم، ونلاحظ في المثال التالي إصدارًا آمنًا من المثال السابق، إذ يُستخدم تحويل الأنواع قسريًا للسـماح بوجود قيم long:

```
#include <stdio.h>
#define ARSZ 10

main(){
	float fa[ARSZ], *fp1, *fp2;

	fp1 = fp2 = fa; /* عنوان العنصر الأول */
	while(fp2 != &fa[ARSZ]){
		printf("Difference: %ld\n", (long)(fp2-fp1));
		fp2++;
	}
	return(0);
}
```

[مثال 5]

### 5.3.5 مؤشرات void و null والمؤشرات الإشكالية

لغة سي حريصة بشأن أنواع المؤشرات، ولن تسمح لك عمومًا باستخدام مؤشرات ذات أنوع مختلفة ضمن التعبير ذاته. يختلف مؤشر إلى نوع "char" عن مؤشر إلى نوع "int" ولا يمكنك -على سبيل المثال- إسناد قيمة أحدهما إلى الآخر أو المقارنة فيما بينهما أو طرحهما من بعضهما واستخدام النتيجة مثل وسيط في دالة ما، كمـا يمكن أيضًا تخزين النوعين في الذاكرة بصورةٍ مختلفة وأن يكونا بأطوال مختلفة.

> لا تتماثل المؤشرات من أنواع مختلفة فيما بينها، وليس هناك أي تحويلات ضمنية بين الأنواع كما شاهدنا في الأنواع الحسابية سابقًا.

لكن نريد في بعض الحالات تجاوز هذه القيود، فكيف نفعل ذلك؟

يكمن الحل هنا باستخدام أنواع خاصة، وقد قدمنا واحدًا من هذه الأنواع سابقًا ألا وهـو "مؤشـر إلى void"، وقُدّمت هذه الميزة مـع سـي المعياريـة إذ افتُـرض سـابقًا أن المؤشـر من نـوع "مؤشـر إلى char" كـافٍ لهـذه المهمة، وكان الافتراض صحيحًا إلى حدٍّ ما إلا أنه كان حلًّا غير منظّمًا، بينما قدّم الحـل الجديـد طريقـةً أكـثر أمانًـا وأقل تشويشًا. لا يوجد أي استخدام للمؤشر هذا، لأن "void *" لا يشير إلى أي قيمة، لذا يحسّن هذا الأمــر من سهولة قراءة الشيفرة البرمجية. يمكن أن يخزن المؤشر من النوع "void *" أي قيمة من أي مؤشر آخـر، ويمكن إسناده إلى مؤشر آخر من أي نوع أيضًا، إلا أنه يجب استخدام هذا النوع من المؤشرات بحذر لأنه قد ينتهي الأمــر بك ببعض الأخطاء الوخيمة، وسنناقش استخدامه الآمن مع دالة "malloc" لاحقًا.

قد تحتاج أيضًا في بعض الحالات إلى مؤشر مضمون أنه لا يشير إلى أي كائن والذي يُـدعى مؤشـر من نـوع "null" أو **مؤشر الفراغ null pointer**. من الشائع في لغة سي كتابة بعض الإجراءات routines التي تعيـد مؤشرات، بحيث يمكن الدلالة على فشل ذلك الإجراء بعدم قدرته على إعادة مؤشر صالح عن طريق إعادة مؤشــر الفراغ. ومن الأمثلة على ذلك إجراء فحصٍ لقيم موجودة في جدول ما بحثًـا عن قيمـة معينـة ويعيـد مؤشـرًا على الكائن المُطابق إن وُجدت النتيجة أو مؤشر الفراغ إن لم تُوجد أي نتيجةٍ مطابقة.

لكن كيف يمكن كتابة مؤشر فراغ؟ هناك طريقتان لفعل ذلـك وكلا الطريقـتين متمـاثلتين في النتيجـة، إمـا باستخدام رقم صحيح ثابت بقيمة "0" أو تحويـل القيمـة إلى نـوع "void *" باسـتخدام التحويـل بين الأنـواع، وتدعى نتيجة الطريقتين **بمؤشر الفراغ الثابت null pointer constant**. إذا أسـندت مؤشـر فـراغ إلى أي مؤشر آخر أو قارنت بين مؤشر الفراغ ومؤشر آخر فسيُحوَّل مؤشر الفراغ إلى نوع المؤشر الآخر تلقائيًّا، مما سيحلّ أي مشكلة بخصوص توافقية الأنواع، ولن تُساوي القيمة التي يشير إليها ذلك المؤشـر -مؤشـر الفـراغ- أي قيمـة كائن آخر يشير إليها أي مؤشر داخل البرنامج (أي سيشير إلى قيمة فريدة).

القيم الوحيدة الممكن إسنادها للمؤشرات باستثناء القيمة "0" هي قيم المؤشرات الأخرى من نفس النـوع، إلا أن الأمر الذي يجعل من لغة سي مميزة وبديلًا مفيدًا للغة التجميعية هو سماحها لك بفعل بعض الأشياء التي لا تسمح لك بها معظم لغات البرمجة الأخرى، جرّب التالي:

```
int *ip;
ip = (int *)6;
*ip = 0xFF;
```

ما نتيجة السابق؟ تُهيأ قيمة المؤشر إلى 6 (لاحظ تحويل نـوع 6 من int إلى مؤشـر)، وهـذه عمليـة تُجـرى على مستوى الآلة غالبًا ويكون تمثيل قيمة المؤشر بالبتات غير مشابه لما قد يكـون تمثيـل الـرقم 6، كمـا تُسـند القيمة الست عشرية FF بعد التهيئة إلى الكائن الذي يشير إليه المؤشر. تُكتب القيمة 0xFF على الرقم الصـحيح ذو الموضع 6، إذ يعتمد الموضع 6 على تفسير الآلة له على الذاكرة.

قد تحتاج لهذا النوع من الأشياء وقد لا تحتاج إليها إطلاقًا، ولكن لغة سي تعطيك الخيار، ومن الواجب معرفتها إذ أنه من الممكن كتابتها على نحوٍ خاطئ غير مقصود مما سيتسبب بنتائج مفاجئة جدًا.

## 5.4 التعامل مع المحارف والسلاسل النصية

تُستخدم لغة سي على نطاق واسع في تطبيقات المعالجة والتعامل بالمحارف characters والسلاسل النصية strings، وهذا الأمر غريب بعض الشيء لأن اللغة لا تحتوي على مزايا موجهة لهذا الغرض بالتحديد،؛ وإذا كنت معتادًا على لغات البرمجة التي تحتوي على مزايا موجهة للتعامل مع المحارف والسلاسل النصية، فستجد التعامل مع لغة سي بهذا الخصوص مضجرًا على أقل تقدير.

تحتوي المكتبة القياسية على العديد من الدوال التي تساعدك في التعامل مع السلاسل النصية، إلا أن الأمر يبقى صعبًا بعض الشيء مقارنةً بلغاتٍ أخرى. على سبيل المثال، عليك استدعاء دالة مخصصة للمقارنة ما بين سلسلتين نصيتين بدلًا من استخدام عامل المساواة "="، ولكن هناك جانبٌ مشرقٌ لهذا الأمر، إذ يعني ذلك أن اللغة غير مُثقلة بطرق دعم معالجة السلاسل النصية مما يساعد بالمحافظة على برامج أصغر وأقل تشعّبًا، وحالما تكتب برنامجًا لمعالجة السلاسل النصية بلغة سي بنجاح أخيرًا، ستكون قادرًا على تشغيله بسرعة أكبر مقارنةً باللغات الأخرى.

### 5.4.1 التعامل مع المحارف

يجري التعامل مع محارف السلسلة النصية في لغة سي عن طريق التصريح عن مصفوفات، أو حجزهم ديناميكيًا، والتعامل مع المحارف وتحريكها "يدويًّا". إليك مثالًا عن برنامج يقرأ نصًّا سطرًا بسطر من دخل البرنامج القياسي، ويتوقف البرنامج عن القراءة إذا كان السطر مكوّنًا من السلسلة النصية "stop"، ويُطبع طول السطر فيما عدا ذلك. يعتمد البرنامج على تقنية تُستخدم في معظم برامج سي ألا وهي: يقرأ البرنامج المحارف ويحوّلها إلى مصفوفة ويحدّد نهاية المصفوفة بمحرفٍ إضافي له القيمة صفر؛ كما يستخدم هذا المثال دالة `strcmp` للمقارنة بين سلسلتين نصيتين من خلال تضمين المكتبة `string.h`.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#define LINELNG 100      /* الطول الأعظمي لسطر الدخل الواحد */

main(){
      char in_line[LINELNG];
      char *cp;
      int c;
```

```
        cp = in_line;
        while((c = getc(stdin)) != EOF){
                if(cp == &in_line[LINELNG-1] || c == '\n'){
                        /*إدخال ما يدل على نهاية السطر*/
                        *cp = 0;
                        if(strcmp(in_line, "stop") == 0 )
                                exit(EXIT_SUCCESS);
                        else
                                printf("line was %d characters long\n",
                                        (int)(cp-in_line));
                        cp = in_line;
                }
                else
                        *cp++ = c;
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 6]

يوضح لنا هذا المثال مزيدًا من مزايا وطرق لغة سي المُستخدمة في برامجها، وأهمها هو طريقة تمثيل السلاسل النصية ومعالجتها.

إليك تطبيقًا عمليًّا عن الدالة `strcmp` التي تقارن بين سلسلتين نصيتين وتعيد القيمة صفر إن تساوت قيمتهما، وللدالة هذه في الحقيقة تطبيقات أكثر ولكننا سنتجاهل المعلومات التي قد تزيد من تعقيد شرحنا. لاحظ استخدام الكلمة المفتاحية `const` في التصريح عن الوسطاء، والذي يوضِّح أن الدالة لن تعدل على محتويات السلسلة النصية بل ستفحص قيم محتوياتها فقط، ونلاحظ استخدام هذه الطريقة في التعريف عن العديد من دوال المكتبة القياسية.

```
/*
* برنامج يختبر مساواة سلسلتين نصيتين
* يُعيد القيمة "خطأ" إذا تساوت السلسلتين
*/
int
str_eq(const char *s1, const char *s2){
        while(*s1 == *s2){
                /*
```

```
                 * إعادة 0 عند نهاية السلسلة النصية
                 */
                if(*s1 == 0)
                        return(0);
                s1++; s2++;
        }
        /* عُثر على فرق بين السلسلتين */
        return(1);
}
```

[مثال 7]

## 5.4.2 السلاسل النصية Strings

يعرف كل مبرمجٍ للغة سي معنى السلسلة النصية، فهي مصفوفةٌ من متغيرات من نوع "char"، ويكون المحرف الأخير لهذه السلسلة النصية متبوعًا بمحرف فراغ null. ربما تصرخ الآن وتقول "ولكنني اعتقدت أن السلسلة النصية هي نصٌ محتوًى داخل إشارتي تنصيص!" أنت محقّ، إذ تُعد السلسلة التالية في لغة سي مصفوفةً من المحارف:

```
"a string"
```

وهذا الشيء الوحيد الذي يمكنك التصريح عنه لحظة استخدامه، أي دون التصريح عن مصفوفة المحارف وتحديد حجمها.

> كانت السلاسل النصية في لغة سي القديمة تُخزّن مثل أي سلسلة محارف اعتيادية، وكانت قابلةً للتعديل. إلا أن المعيار ينص على أن محاولة التعديل على سلسلة نصية سيتسبب بسلوك غير محدد على الرغم من كون السلاسل النصية مصفوفةً من نوع "char" وليس "const char".

لاستخدام السلسلة النصية داخل علامتي تنصيص أثران: أولهما أن السلسلة النصية تحلّ محل تصريح وبديل عن الاسم، كما أنها تمثِّل تصريحًا خفيًّا لمصفوفة من المحارف، وتُهيّأ قيمة هذه المصفوفة إلى قيم المحارف الموجودة في السلسلة النصية متبوعةً بمحرف قيمته صفر، ولا يوجد لهذه المصفوفة أي اسم، لذا باستثناء الاسم، يكون الوضع مشابهًا للتالي:

```
char secret[9];
secret[0] = 'a';
secret[1] = ' ';
secret[2] = 's';
```

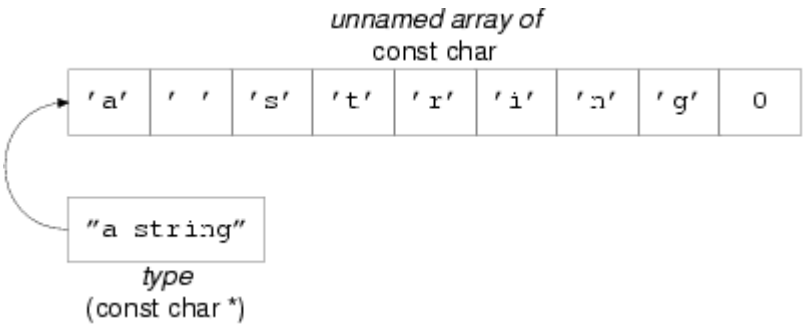
```
secret[3] = 't';
secret[4] = 'r';
secret[5] = 'i';
secret[6] = 'n';
secret[7] = 'g';
secret[8] = 0;
```

وهي مصفوفةٌ من المحارف متبوعةٌ بقيمة صفر، وتحتوي جميع قيم المحارف بداخلها، لكنها عديمة الاسم إذا صُرِّح عنها باستخدام طريقة السلسلة النصية المحاطة بعلامتي تنصيص، فكيف نستطيع استخدامها؟

يكون وجود السلسلة النصية بمثابة اسمٍ مخفي لها حالما تراها لغة سي محاطةً بعلامتي تنصيص، إذ أن وجود السلسلة النصية بهذا الشكل لا يؤدي إلى تصريح ضمني فقط، بل يؤدي إلى إعطاء اسمٍ لمصفوفة موافقة. نتذكر جميعنا أن اسم المصفوفة مساوٍ لعنوان عنصرها الأول (تفقد فصل المؤشرات) فما نوع السلسلة التالية؟

```
"a string"
```

النوع مؤشر طبعًا، إذ أن السلسلة النصية المكتوبة بالشكل السابق تكافئ مؤشرًا إلى أول عناصر المصفوفة الخفية عديمة الاسم، وهي مصفوفةٌ من نوع char، فالمؤشر من نوع "مؤشر إلى char"، ويوضح الشكل 8 هذه الحالة.




الشكل 8: أثر استخدام السلسلة النصية

للبرهان على السابق، ألقِ نظرةً على البرنامج التالي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main(){
      int i;
      char *cp;

      cp = "a string";
```

```
        while(*cp != 0){
                putchar(*cp);
                cp++;
        }
        putchar('\n');

        for(i = 0; i < 8; i++)
                putchar("a string"[i]);
        putchar('\n');
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 8]

تضبط الحلقة الأولى مؤشرًا يشير إلى بداية المصفوفة، ويُمرّر المؤشر على المصفوفة إلى أن يصل المؤشر إلى القيمة صفر في النهاية، بينما "تَعرف" الحلقة الثانية طول السلسلة النصية وهي أقل فائدة مقارنةً بسابقتها. لاحظ أن الحلقة الأولى غير معتمدة على طول السلسلة النصية بل على وصولها لنهايتها وهو الشيء الأهم الذي ينبغي عليك تذكره من هذا المثال.

يجري التعامل مع السلاسل النصية في لغة سي بطريقة ثابتة دون أي استثناءات وهي الطريقة التي تتوقعها جميع دوال التعامل مع السلاسل النصية، فيسمح الصفر في نهاية السلسلة النصية للدوال بمعرفة نهاية السلسلة النصية. عُد للمثال السابق الخاص بدالة `str_eq`، إذ تأخذ الدالة مؤشرين يشيران لمحرفين مثل وسطاء (تُقبل السلسلة النصية ذاتها بكونها واحدًا من الوسيطين أو كلاهما) وتُقارن السلسلة النصية بالتحقق من كل محرف واحدًا تلو الآخر، وإذا تساوى المحرفين فتتحقّق من أن المؤشر لم يصل إلى نهاية السلسلة عن طريق الجملة الشرطية التالية:

```
if(*s1 == 0):
```

وإذا وصل المؤشر للنهاية فإنها تُعيد `0` للدلالة على أن السلسلتين متساويتين، يمكن إجراء الاختبار ذاته باستخدام المؤشر `*s2` دون أي فارق؛ أما في حالة الفرق بين المحرفين تُعاد القيمة `1` للدلالة على فشل المساواة.

تُستدعى الدالة `strcmp` في المثال باستخدام وسيطين مختلفين عن بعضهما، إذ أن الوسيط الأول هو مصفوفة محارف والثاني سلسلة نصية، لكنهما في الحقيقة يمثلان الشيء ذاته؛ فمصفوفة المحارف التي تنتهي بالعنصر صفر (يسند برنامجنا القيمة صفر إلى أول عنصر فارغ في مصفوفة `in_line`) والسلسلة

النصية بين قوسين (التي تُمثّل بدورها أيضًا مصفوفة محارف تنتهي بصفر) من نفس الطبيعة، واستخدامهما مثل وسيطين للدالة `strcmp` ينتج بتمرير مؤشرَي محارف (وقد شرحنا السبب بذلك بإفاضة سابقًا).

### 5.4.3 المؤشرات وعامل الزيادة

ذكرنا سابقًا التعبير التالي، وقلنا أنّنا ستعيد النظر فيه لاحقًا:

```
(*p)++;
```

حان الوقت الآن للكلام عن ذلك؛ إذ تُستخدم المؤشرات بكثرة مع المصفوفات والتمرير بينها، لذلك من الطبيعي استخدام العاملين `--` و `++` معها. يوضح المثال التالي إسناد القيمة صفر إلى مصفوفة باستخدام المؤشر وعامل الزيادة:

```
#define ARLEN 10

int ar[ARLEN], *ip;

ip = ar;
while(ip < &ar[ARLEN])
      *(ip++) = 0;
```

[مثال 9]

يُضبط المؤشر `ip` ليبدأ من بداية المصفوفة، وعلى الرغم من إشارة المؤشر إلى داخل المصفوفة إلا أن القيمة التي يشير إليها تساوي الصفر، وعند وصولنا للحركة التكرارية ينجز عامل الزيادة ما هو متوقع ويُنقل المؤشر للعنصر الذي يليه داخل المصفوفة، وبالتالي استخدام العامل `++` عامل إلحاق postfix مفيدٌ في هذه الحالة.

معظم الأشياء التي ناقشناها شائعة الوجود، وستجدها في معظم البرامج (استخدام عامل الزيادة والمؤشرات بالشكل الموضح في المثال السابق ليس مرةً واحدةً أو مرتين بل تقريبًا كل عدّة أسطر ضمن الشيفرة البرمجية، وستعتقد أنك تراها بصورةٍ أكثر إذا كنت تجد استخدامها صعب الفهم. لكن ما هي التشكيلات التي يمكننا الحصول عليها؟ بالنظر إلى أن `*` تعني التأشير و `++` تعني الزيادة و `--` تعني النقصان، كما أنه لدينا خياري وضع العاملين السابقين مثل عامل إلحاق postfix أو عامل إسباق prefix، نحصل على الاحتمالات التالية (بغض النظر عن عامل الزيادة أو النقصان) مع التركيز على موضع الأقواس:

الجدول 14: معاني المؤشرات

| | |
|---|---|
| `++(*p)` | زيادة سابقة للشيء الذي يشير إليه المؤشر |
| `(*p)++` | زيادة لاحقة للشيء الذي يشير إليه المؤشر |
| `*(p++)` | زيادة لاحقة على المؤشر |
| `*(++p)*` | زيادة سابقة على المؤشر |

اقرأ الجدول السابق بحرص وتأكد أنك تفهم جميع التركيبات التي ذُكرت.

يمكن فهم محتوى الجدول السابق بعد تفكير بسيط، ولكن هل يمكنك توقع ما الذي سيحدث عند إزالة الأقواس بالنظر إلى أن الأسبقية للعوامل الثلاث `*` و `--` و `++` متساوية؟ تتوقع حدوث أخطاء كارثية، أليس كذلك؟ يوضّح الجدول 14 أن هناك حالةٌ واحدةٌ يجب أن تحافظ فيها على الأقواس.

الجدول 15: المزيد من معاني المؤشرات

| مع أقواس | دون أقواس إن أمكن |
|---|---|
| `++(*p)` | `++*p` |
| `(*p)++` | `(*p)++` |
| `*(p++)` | `*p++` |
| `*(++p)` | `*++p` |

لعلّ الأشكال المثيرة للتشويش في الجدول السابق ستدفعك لاستخدام الأقواس بغض النظر عن أهمية استعمالها في أي حالة سعيًا منك لتحسين قابلية قراءة الشيفرة البرمجية وفهمها، لكن يتخلى معظم مبرمجي لغة سي عن استخدام الأقواس بعد تعلُّم قوانين الأسبقية ونادرًا ما يستخدمون الأقواس في تعابيرهم، لذا عليك الاعتياد على قراءة الأمثلة التالية سواءٌ كانت مع أقواس أو بدونها، فالاعتياد على هذا الأمر سيساعدك بحقّ في تعلمك.

## 5.4.4 المؤشرات عديمة النوع

من المهم في بعض الأحيان تحويل نوعٍ من المؤشرات إلى نوع آخر بمساعدة التحويل بين الأنواع مثل التعبير التالي:

```
(type *) expression
```

يُحوَّل التعبير `expression` في المثال السابق إلى مؤشر من نوع "مؤشر إلى نوع `type`" بغض النظر عن نوع التعبير السابق، إلا أنه يجب تفادي هذه الطريقة إلا في حال كنت مدركًا تمامًا لما تفعله، فمن غير المحبّذ استخدامها إلا إذا كنت مبرمجًا خبيرًا. **لا** تفترض أن التحويل بين الأنواع يلغي أي حسابات أخرى بخصوص

"الأنواع غير المتوافقة مع بعضها" التي تقع على عاتق المصرّف، إذ من المهم إعادة حساب القيم الجديدة للمؤشر بعد تغيير نوعه على العديد من معماريات الحاسوب.

هناك بعض الحالات التي ستحتاج فيها لاستخدام مؤشر "معمّم generic"، وأبرز مثال على ذلك هو تطبيق لدالة المكتبة القياسية `malloc` التي تُستخدم لحجز المساحة على الذاكرة للكائن الذي لم يصرّح عنه بعد، ويجري تزويد الحجم المراد حجزه عن طريق تزويد مثل وسيطٍ سواءٌ كان الكائن متغيرًا من نوع `float` أو مصفوفة من نوع `int` أو أي شيء آخر. تعيد الدالة مؤشرًا إلى عنوان التخزين المحجوز التي تختاره بطريقتها الخاصة (والتي لن نتطرق إليها) من مجموعةٍ من عناوين الذاكرة الفارغة، ومن ثم يُحوَّل المؤشر إلى النوع المناسب. على سبيل المثال، تحتاج القيمة من نوع `float` إلى 4 بايتات من الذاكرة، وبالتالي نكتب ما يلي لحجز مساحة للقيمة:

```
float *fp;

fp = (float *)malloc(4);
```

تعثر الدالة `malloc` على 4 بايتات من الذاكرة الفارغة، ويُحوَّل عنوان الذاكرة إلى مؤشر من نوع "مؤشر إلى `float`"، ثم تُسند القيمة إلى المؤشر (`fp` في حالة مثالنا السابق).

لكن ما هو نوع المؤشر الذي ستُسند قيمة `malloc` إليه؟ نحن بحاجة نوع يمكن أن يحتوي جميع أنواع المؤشرات فنحن لا نعلم نوع المؤشر الذي ستعيده الدالة `malloc`.

الحل هو باستخدام نوع المؤشر `void *` الذي تكلمنا عنه سابقًا، إليك المثال السابق مع إضافة تصريح للدالة `malloc`:

```
void *malloc();
float *fp;

fp = (float *)malloc(4);
```

لا حاجة لاستخدام تحويل الأنواع على القيمة المُعادة من الدالة `malloc` حسب قوانين الإسناد للمؤشرات، ولكن استُخدم تحويل الأنواع لممارسة الأمر لا أكثر.

لا بد من طريقة لمعرفة قيمة وسيط `malloc` الدقيقة في نهاية المطاف، ولكن القيمة ستكون مختلفةً على أجهزة بمعماريات مختلفة، لذا لا يمكنك الاكتفاء باستخدام القيمة الثابتة `4` فقط، بل يجب علينا استخدام عامل `sizeof`.

## 5.5 عامل sizeof وحجز مساحات التخزين

يُعيد العامل "sizeof" حجم المُعامل operator بالبايتات، وتعتمد نتيجة العامل "sizeof" بكونها عددًا صحيحًا عديم الإشارة "unsigned int" أو عددًا كبيرًا عديم الإشارة "unsigned long" على التطبيق implementation، وهذا هو السبب في تفادينا لأي مشكلات في المثال السابق (الفصل السابق) عند التصريح عن دالة malloc على الرغم من عدم تزويد التصريح بأي تفاصيل عن معاملاتها؛ إذ يجب استخدام ملف الترويسة stdlib.h عوضًا عن ذلك عادةً للتصريح عن malloc على النحو الصحيح. إليك المثال ذاته ولكن بتركيز على جعله قابلًا للتنقل portable عبر مختلف الأجهزة:

```
#include <stdlib.h>     /* يتضمن ملف الترويسة تصريحًا عن malloc() */
float *fp;

fp = (float *)malloc(sizeof(float));
```

يجب أن يُكتب معامل sizeof داخل قوسين إذا كان فقط اسمًا لنوع بيانات (وهي الحالة في مثالنا السابق)، بينما يمكنك التخلي عن القوسين إذا كنت تستخدم اسم كائن بيانات عوضًا عن ذلك، ولكن هذه الحالة نادرة الحدوث.

```
#include <stdlib.h>

int *ip, ar[100];
ip = (int *)malloc(sizeof ar);
```

لدينا في المثال السابق مصفوفة باسم ar مكونةٌ من 100 عنصر من نوع عدد صحيح int، ويشير ip إلى مساحة التخزين الخاصة بهذه المصفوفة (مساحةٌ لمئة قيمة من نوع int) بعد استدعاء malloc (بفرض أن الاستدعاء كان ناجحًا).

تعدّ char (محرف وهي اختصارٌ إلى character) وحدة القياس الأساسية للتخزين في لغة سي، وتساوي بايتًا واحدًا، جرّب نتيجة التعليمة الآتية:

```
sizeof(char)
```

وبناءً على ذلك، يمكنك حجز مساحة لعشرة قيم من نوع char على النحو التالي:

```
malloc(10)
```

ولحجز مساحة لمصفوفة بحجم عشرة قيم من نوع int، نكتب:

```
malloc(sizeof(int[10]))
```

تُعيد الدالة `malloc` مؤشرًا إلى الفراغ null pointer في حال لم تتوفر المساحة الكافية للإشارة إلى خطأ ما. يحتوي ملف الترويسة `stdio.h` ثابتًا معرّفًا باسم `NULL`، والذي يُستخدم عادةً للتحقق من القيمة المُعادة من الدالة `malloc` ودوال أخرى من المكتبة القياسية، وتُعد القيمة `0` أو `(void *)0` مساويةً لهذا الثابت ويمكن استخدامها.

إليك المثال التالي لتوضيح استخدام الدالة `malloc`، إذ يقرأ البرنامج في المثال سلاسلًا نصيةً بعدد `MAXSTRING` من الدخل، ثمّ يرتب السلاسل النصية أبجديًّا باستخدام الدالة `strcmp`. يُشار إلى نهاية السلسلة النصية بمحرف التهريب escape character التالي `\n`، وتُرتَّب السلاسل باستخدام مصفوفة من المؤشرات تُشير إلى السلسلة النصية وتبديل مواضع المؤشرات حتى الوصول إلى الترتيب الصحيح، مما يجنُّبنا عناء نسخ السلاسل النصية ويحسّن من سرعة تنفيذ البرنامج ويحد من هدر الموارد إلى حدٍّ ما.

استخدمنا في الإصدار الأول من المثال مصفوفةً ثابتة الحجم، ثم استخدمنا في الإصدار الثاني حجز المساحة باستخدام `malloc` لكل سلسلة نصية عند وقت التشغيل run-time، بينما بقيت مصفوفة المؤشرات -لسوء الحظ- ثابتة الحجم، إلا أنه يمكننا تطبيق حلّ أفضل باستخدام قائمة مترابطة Linked list، أو أي هيكل بيانات مشابه لتخزين المؤشرات دون الحاجة لاستخدام المصفوفات ثابتة الحجم إطلاقًا، ولكننا لم نتكلم عن هياكل البيانات بعد.

إليك ما يبدو عليه هيكل برنامجنا:

```
while(number of strings read < MAXSTRING
      && input still remains){

            read next string;
}
sort array of pointers;
print array of pointers;
exit;
```

سنستخدم بعض الدوال في برنامجنا أيضًا:

```
char *next_string(char *destination)
```

تقرأ الدالة السابقة سطرًا من المحارف بحيث ينتهي السطر بالمحرف `\n` من دخل البرنامج، وتُسند المحارف البالغ عددها `MAXLEN-1` إلى المصفوفة المُشار إليها بالمصفوفة الهدف `destination`، إذ يمثّل `MAXLEN` قيمةً ثابتةً لطول السلسلة النصية العظمى.

إذا كان المحرف الأول المقروء هو EOF (أي نهاية الملف)، أعِد مؤشرًا إلى الفراغ، وفيما عدا ذلك أعِد عنوان بداية السلسلة النصية (الهدف destination)، بحيث تحتوي السلسلة النصية الهدف دائمًا على المحرف \n، الذي يشير إلى نهاية السلسلة.

```
void sort_arr(const char *p_array[])
```

تمثل المصفوفة p_array[] مصفوفة المؤشرات التي تشير للمحارف، ويمكن أن تكون المصفوفة كبيرة الحجم ولكن يُشار إلى نهايتها بأول عنصر يحتوي على مؤشر فراغ null pointer.

ترتّب الدالة sort_arr المؤشرات بحيث تُشير إلى السلاسل النصية المرتبة أبجديًا عند اجتياز مصفوفة المؤشرات بناءً على دليل index المؤشر.

```
void print_arr(const char *p_array[])
```

تُشابه دالة print_arr الدالة sort_arr ولكنها تطبع السلاسل النصية حسب ترتيبها الأبجدي.

تذكّر أنه يجري تحويل اسم المصفوفة إلى عنوانها وعنصرها الأول في أي تعبير يحتوي على اسمها، ومن شأن ذلك أن يساعدك في فهم الأمثلة على نحوٍ أفضل؛ والأمر مماثلٌ بالنسبة لمصفوفة ثنائية البعد، مثل مصفوفة strings في المثال التالي، فنوع التعبير strings[1][2] هو char، ولكن للعنصر strings[1] نوع "مصفوفة من char"، ولذلك يُحوَّل اسم المصفوفة إلى عنوان العنصر الأول ونحصل على &strings[1][0].

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#define MAXSTRING       50      /* العدد الأعظمي للسلاسل النصية */
#define MAXLEN          80      /* الطول الأعظمي لكل سلسلة نصية */

void print_arr(const char *p_array[]);
void sort_arr(const char *p_array[]);
char *next_string(char *destination);

main(){
      /* نصرح عن المصفوفة مع إضافة عنصر فارغ في نهايتها */
      char *p_array[MAXSTRING+1];

      /* مصفوفة تخزين السلاسل النصية */
```

```
        char strings[MAXSTRING][MAXLEN];

        /* عدد السلاسل النصية المقروءة */
        int nstrings;

        nstrings = 0;
        while(nstrings < MAXSTRING &&
                next_string(strings[nstrings]) != 0){

                p_array[nstrings] = strings[nstrings];
                nstrings++;
        }
        /* إعدام قيمة المصفوفة */
        p_array[nstrings] = 0;

        sort_arr(p_array);
        print_arr(p_array);
        exit(EXIT_SUCCESS);
}

void print_arr(const char *p_array[]){
        int index;
        for(index = 0; p_array[index] != 0; index++)
                printf("%s\n", p_array[index]);
}


void sort_arr(const char *p_array[]){
        int comp_val, low_index, hi_index;
        const char *tmp;

        for(low_index = 0;
                p_array[low_index] != 0 &&
                                p_array[low_index+1] != 0;
                        low_index++){
```

```
                for(hi_index = low_index+1;
                        p_array[hi_index] != 0;
                                hi_index++){

                        comp_val=strcmp(p_array[hi_index],
                                p_array[low_index]);
                        if(comp_val >= 0)
                                continue;
                        /* التبديل بين السلسلتين النصيتين */
                        tmp = p_array[hi_index];
                        p_array[hi_index] = p_array[low_index];
                        p_array[low_index] = tmp;
                }
        }
}



char *next_string(char *destination){
        char *cp;
        int c;

        cp = destination;
        while((c = getchar()) != '\n' && c != EOF){
                if(cp-destination < MAXLEN-1)
                        *cp++ = c;
        }
        *cp = 0;
        if(c == EOF && cp == destination)
                return(0);
        return(destination);
}
```

[مثال 10]

إعـادة الدالـة next_string لمؤشـر ليس من قبيـل المصـادفة، إذ أصـبح بإمكاننـا الآن الاسـتغناء عن استخدام مصفوفة السلاسل النصية واستخدام next_string لحجز مساحة التخزين الموافقة لها.

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#define MAXSTRING       50      /* العدد الأعظمي للسلاسل النصية */
#define MAXLEN          80      /* الطول الأعظمي لكل سلسلة نصية  */

void print_arr(const char *p_array[]);
void sort_arr(const char *p_array[]);
char *next_string(void);

main(){
      char *p_array[MAXSTRING+1];
      int nstrings;

      nstrings = 0;
      while(nstrings < MAXSTRING &&
              (p_array[nstrings] = next_string()) != 0){

              nstrings++;
      }
      /* إعدام قيمة المصفوفة */
      p_array[nstrings] = 0;

      sort_arr(p_array);
      print_arr(p_array);
      exit(EXIT_SUCCESS);
}

void print_arr(const char *p_array[]){
      int index;
      for(index = 0; p_array[index] != 0; index++)
              printf("%s\n", p_array[index]);
}
```

```
void sort_arr(const char *p_array[]){
	int comp_val, low_index, hi_index;
	const char *tmp;

	for(low_index = 0;
		p_array[low_index] != 0 &&
			p_array[low_index+1] != 0;
			low_index++){

		for(hi_index = low_index+1;
			p_array[hi_index] != 0;
				hi_index++){

			comp_val=strcmp(p_array[hi_index],
				p_array[low_index]);
			if(comp_val >= 0)
				continue;
			/* التبديل بين السلسلتين النصيتين */
			tmp = p_array[hi_index];
			p_array[hi_index] = p_array[low_index];
			p_array[low_index] = tmp;
		}
	}
}

char *next_string(void){
	char *cp, *destination;
	int c;

	destination = (char *)malloc(MAXLEN);
	if(destination != 0){
		cp = destination;
		while((c = getchar()) != '\n' && c != EOF){
			if(cp-destination < MAXLEN-1)
				*cp++ = c;
		}
```

```
                *cp = 0;
                if(c == EOF && cp == destination)
                        return(0);
        }
        return(destination);
}
```

[مثال 11]

وأخيرًا إليك المثال كاملًا مع استخدام مصفوفة p_array للدالة malloc، ولاحظ إعادة كتابة معظم أدلة المصفوفة لتستخدم ترميز المؤشرات. إذا كنت تشعر بالإرهاق من جميع المعلومات التي قرأتها فتجاوز المثال التالي، فهو صعبٌ بعض الشيء.

شرح المثال: تعني char **p مؤشرًا يشير إلى المؤشر الذي يشير إلى محرف، ويجد معظم مبرمجو لغة سي هذه الطريقة في استخدام المؤشرات صعبة الفهم.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.hi>
#include <string.h>

#define MAXSTRING       50      /* العدد الأعظمي للسلاسل النصية */
#define MAXLEN          80      /*الطول الأعظمي لكل سلسلة نصية*/

void print_arr(const char **p_array);
void sort_arr(const char **p_array);
char *next_string(void);

main(){
        char **p_array;
        int nstrings;   /* عدد السلاسل النصية المقروءة */

        p_array = (char **)malloc(
                        sizeof(char *[MAXSTRING+1]));
        if(p_array == 0){
                printf("No memory\n");
                exit(EXIT_FAILURE);
        }
```

```
        nstrings = 0;
        while(nstrings < MAXSTRING &&
                (p_array[nstrings] = next_string()) != 0){

                nstrings++;
        }
        /* إعدام قيمة المصفوفة */
        p_array[nstrings] = 0;

        sort_arr(p_array);
        print_arr(p_array);
        exit(EXIT_SUCCESS);
}

void print_arr(const char **p_array){
        while(*p_array)
                printf("%s\n", *p_array++);
}


void sort_arr(const char **p_array){
        const char **lo_p, **hi_p, *tmp;

        for(lo_p = p_array;
                *lo_p != 0 && *(lo_p+1) != 0;
                                        lo_p++){
                for(hi_p = lo_p+1; *hi_p != 0; hi_p++){

                        if(strcmp(*hi_p, *lo_p) >= 0)
                                continue;
                        /* التبديل بين السلسلتين النصيتين */
                        tmp = *hi_p;
                        *hi_p = *lo_p;
                        *lo_p = tmp;
                }
```

```
        }
}



char *next_string(void){
        char *cp, *destination;
        int c;

        destination = (char *)malloc(MAXLEN);
        if(destination != 0){
                cp = destination;
                while((c = getchar()) != '\n' && c != EOF){
                        if(cp-destination < MAXLEN-1)
                                *cp++ = c;
                }
                *cp = 0;
                if(c == EOF && cp == destination)
                        return(0);
        }
        return(destination);
}
```

[مثال 12]

سنستعرض مثالًا آخر لتوضيح استخدام دالة `malloc` وإمكاناتها في التعامل مع السلاسل النصية الطويلة؛ إذ يقرأ المثال السلاسل النصية من الدخل ويبحث عن محرف سطر جديد لتحديد نهاية السلسلة النصية (أي `\n`)، ثم يطبع السلسلة النصية إلى الخرج، ويتوقف البرنامج عن العمل عندما يصادف محرف نهاية الملف `EOF`. تُسنَد المحارف إلى مصفوفة، ويُدلّ على نهاية المصفوفة -كما هو معتاد- بالقيمة صفر، مع ملاحظة أن محرف السطر الجديد لا يُخزَّن بالمصفوفة بل يُستخدم فقط لتحديد سطر الدخل الواجب طباعته للخرج. لا يعلم البرنامج طول السلسلة النصية تحديدًا، ولذلك يبدأ بفحص كل عشرة محارف وحجز المساحة الخاصة بهم (الثابت `GROW_BY`).

تُستدعى الدالة `malloc` في حال كانت السلسلة النصية أطول من عشرة محارف لحجز المساحة للسلسلة النصية وإضافة عشرة محارف أخرى، ثم تُنسخ المحارف الحالية للمساحة الجديدة وتُستخدم من البرنامج وتُحرّر المساحة القديمة.

تُستخدم الدالة free لتحرير المساحة القديمة المحجوزة من malloc مسبقًا، إذ يجب عليك تحرير المساحة غير المُستخدمة بعد الآن دوريًا قبل أن تتراكم، واستخدام free يحرّر المساحة ويسمح بإعادة استخدامها لاحقًا.

يستخدم البرنامج الدالة fprintf لعرض أي أخطاء، وهي دالةٌ مشابهة للدالة printf التي اعتدنا على رؤيتها، والفرق الوحيد بينهما هو أن الدالة fprintf تأخذ وسيطًا إضافيًّا يدل على وسيط الخرج الذي سيُطبع إليه، وهناك ثابتان لهذا الغرض معرّفان في ملف الترويسة stdio.h؛ إذ أن استخدام الثابت الأول stdout يعني استخدام خرج البرنامج القياسي، بينما يشير استخدام الثابت الثاني stderr إلى مجرى أخطاء البرنامج القياسي standard error stream، وقد يكون وسيطا الخرج متماثلين في بعض الأنظمة إلا أن بعض الأنظمة الأخرى تفصل بين الاثنين.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#define GROW_BY 10      /* يزداد حجم السلسلة النصية كل مرة بمقدار 10 */

main(){
      char *str_p, *next_p, *tmp_p;
      int ch, need, chars_read;

      if(GROW_BY < 2){
            fprintf(stderr,
                  "Growth constant too small\n");
            exit(EXIT_FAILURE);
      }

      str_p = (char *)malloc(GROW_BY);
      if(str_p == NULL){
            fprintf(stderr,"No initial store\n");
            exit(EXIT_FAILURE);
      }

      next_p = str_p;
      chars_read = 0;
      while((ch = getchar()) != EOF){
```

```
/* (*) */
                if(ch == '\n'){
                        /* الإشارة إلى نهاية السطر */
                        *next_p = 0;
                        printf("%s\n", str_p);
                        free(str_p);
                        chars_read = 0;
                        str_p = (char *)malloc(GROW_BY);
                        if(str_p == NULL){
                                fprintf(stderr,"No initial store\n");
                                exit(EXIT_FAILURE);
                        }
                        next_p = str_p;
                        continue;
                }
                /*
                 * التحقق من وصولنا إلى نهاية المساحة المحجوزة
                 */
                if(chars_read == GROW_BY-1){
                        *next_p = 0;    /* للدلالة على نهاية السلسلة النصية */
                        /* نستخدم الطرح بين المؤشرات لإيجاد طول السلسلة النصية الحالية*/
                        need = next_p - str_p +1;
                        tmp_p = (char *)malloc(need+GROW_BY);
                        if(tmp_p == NULL){
                                fprintf(stderr,"No more store\n");
                                exit(EXIT_FAILURE);
                        }
                        /*
                        نسخ السلسلة النصية باستخدام دالة المكتبة
                         */
                        strcpy(tmp_p, str_p);
                        free(str_p);
                        str_p = tmp_p;
                        /*
                         * next_p إعادة ضبط
                         */
```

```
                        next_p = str_p + need-1;
                        chars_read = 0;
                }
                /*
                 * إسناد المحرف إلى نهاية السلسلة النصية
                 */
                *next_p++ = ch;
                chars_read++;
        }
        /*
         * عند وصولنا إلى نهاية الملف
         * هل توجد محارف غير مطبوعة؟
         */
        if(str_p - next_p){
                *next_p = 0;
                fprintf(stderr,"Incomplete last line\n");
                printf("%s\n", str_p);
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 13]

(*) تُعاد الحلقة في الموضع المذكور عند كل سطر، وهناك مساحةٌ للعنصر صفر في نهاية السلسلة النصية دائمًا، لأننا نتحقق من أصغر من 2 وهو ما تحققنا منه سابقًا GROW_BY ذلك في الشرط التالي إلا في حال كان.

قد لا يكون برنامجنا السابق مثالًا واقعيًا عن التعامل مع السلاسل النصية الطويلة، إذ يتطلب حجم التخزين الأعظمي **ضعف** الحجم المطلوب لأطول سلسلة نصية، ولكنه برنامج يعمل صحيحًا بغض النظر، إلا أنه يكلفنا الكثير بخصوص الموارد بنسخ السلاسل النصية ويمكن حل المشكلتين عن طريق استخدام دالة `realloc`.

نستطيع استخدام القوائم المترابطة لطريقة أكثر تعقيدًا، مع استخدام **الهياكل Structures** التي سنتكلم عنها لاحقًا، إلا أن هذه الطريقة تأتي أيضًا ببعض المشكلات لأن دوال المكتبة القياسية لن تعمل عند استخدام طريقة مغايرة لتخزين السلاسل النصية.

### 5.5.1 ما الأشياء التي لا يستطيع العامل sizeof فعلها؟

يرتكب المبتدئون غالبًا الخطأ التالي عند استخدام العامل sizeof:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

const char arr[] = "hello";
const char *cp = arr;
main(){

      printf("Size of arr %lu\n", (unsigned long)
                     sizeof(arr));
      printf("Size of *cp %lu\n", (unsigned long)
                     sizeof(*cp));
      exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 14]

**لن** تكون الأرقام ذاتها عند الطباعة، إذ سيعرف أولًا حجم arr بكونها 6 بصورةٍ صحيحة (خمسة محارف متبوعةٍ بمحرف الفراغ null)، بينما ستطبع التعليمة الثانية -على جميع الأنظمة- القيمة 1، لأن المؤشر *cp من نوع const char ذو الحجم 1 بايت، بينما arr مختلفةٌ فهي مصفوفةٌ من نوع const char. تسبب هذه المشكلة مصدرًا للحيرة، إذ أن هذه الحالة الوحيدة التي لا يجري فيها تحويل المصفوفة إلى مؤشر أولًا، فمن المستحيل استخدام sizeof لإيجاد طول مصفوفة باستخدام مؤشر يشير إليها، ويجب عليك استخدام اسم المصفوفة **حصرًا**.

### 5.5.2 نوع قيمة sizeof

لعلك تتساءل الآن عن نتيجة التالي:

```
sizeof ( sizeof (anything legal) )
```

فما هو نوع نتيجة عامل sizeof؟ الإجابة على هذا السؤال معرّفة بحسب التطبيق، وقد تكون unsigned long أو unsigned int بحسب تطبيقك، إلا أن هناك شيئان يمكن فعلهما للتأكد من أنك تستخدم القيمة بصورة صحيحة، وهما:

- يمكنك استخدام تحويل الأنواع cast وتحويل القيمة إلى `unsigned long` قسريًا (كما فعلنا في المثال السابق).
- يمكنك استخدام النوع المُعرّف `size_t` الموجود في ملف الترويسة `stddef.h` كما يوضح المثال التالي:

```
#include <stddef.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){
      size_t sz;
      sz = sizeof(sz);
      printf("size of sizeof is %lu\n",
             (unsigned long)sz);
      exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 15]

## 5.6 مؤشرات الدوال

من المفيد أن يكون لدينا إمكانية استخدام المؤشرات على الدوال، كما أن التصريح عن هذا النوع من المؤشرات سهلٌ عن طريق كتابته وكأنك تصرّح عن دالة على النحو التالي:

```
int func(int a, float b);
```

ومن ثم إضافة قوسين حول اسم الدالة والرمز * أمامه، مما يدل على أن هذا التصريح يعود لمؤشر. لاحظ أن التخلي عن القوسين يتسبب بالتصريح عن دالة تُعيد مؤشرًا حسب قوانين الأسبقية:

```
/* int دالةٌ تعيد مؤشرًا إلى قيمة صحيحة */
int *func(int a, float b);

/* مؤشر إلى دالة تعيد قيمة صحيحة int*/
int (*func)(int a, float b);
```

حالما تحصل على المؤشر تستطيع إسناد العنوان إلى النوع المحدد للدالة باستخدام اسمها، إذ يُحوَّل اسم الدالة إلى عنوان في أي تعبير تحتويه بصورةٍ مشابهة لاسم المصفوفة، ويمكنك استدعاء الدالة في هذه الحالة باستخدام إحدى الطريقتين:

```
(*func)(1,2);
/* or */
func(1,2);
```

تفضّل لغة سي المعيارية الطريقة الثانية، إليك مثالًا بسيطًا عنها:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

void func(int);

main(){
	void (*fp)(int);

	fp = func;

	(*fp)(1);
	fp(2);

	exit(EXIT_SUCCESS);
}
void
func(int arg){
	printf("%d\n", arg);
}
```

[مثال 16]

يمكنك توظيف مصفوفة من المؤشرات التي تشير إلى مصفوفات مختلفة إذا أردت كتابة آلةً محدودة الحالات finite state machine، وسيبدو التصريح عنها مماثلًا لما يلي:

```
void (*fparr[])(int, float) = {
                                /* المهيئات initializers*/
                        };
/* استدعاء أحد القيم */
fparr[5](1, 3.4);
```

[مثال 17]

ولكننا لن نتكلم عن هذه الطريقة.

## 5.7 المؤشرات في التعابير

بعد إدخال الأنواع المؤهّلة qualified types ومفهوم الأنواع غير المُكتملة incomplete types مع استخدام مؤشر الفراغ `void *`، أصبح هناك بعض القواعد المعقدة عن مزج المؤشرات وما هو مسموحٌ لك فعليًا في العمليات الحسابية معها. قد تستطيع تجاوز هذه القواعد دون أي مشكلات، لأن معظمها "بديهي" ولكننا سنتكلم عنها بغض النظر عن ذلك، ولا شكّ أنك سترغب بقراءة معيار لغة سي لتحرّي الدقة، لأن ما سيأتي هو تفسير بلغة بسيطة لما ورد في المعيار.

لعلك لا تعلم بدقة ما الذي يقصده المعيار عندما يذكر مصطلحي **الكائنات objects** و**الأنواع غير المُكتملة incomplete types**، فقد استخدمنا هذه المصطلحات حتى الآن بتهاون. يُعد الكائن جزءًا من البيانات المخزنة التي يمكن تفسير محتوياتها إلى قيمة، وبناءً على ذلك فالدالة ليست كائنًا؛ بينما يُعرف النوع غير المكتمل بكونه نوعًا معروفًا ذا اسم معروف لكن دون حجم محدّد بعد، ويمكنك الحصول على هذا النوع عن طريق وسيلتين، هما:

1. التصريح عن مصفوفة دون تحديد حجمها: `int x[];` ويجب توفير المزيد من المعلومات بخصوص هذه المصفوفة في التعريف لاحقًا، ويبقى النوع غير مُكتملًا حتى الوصول لنقطة التعريف.
2. التصريح عن **هيكل Structure** أو **اتحاد Union** دون التعريف عن محتوياته، ويجب التعريف عن محتوياته لاحقًا في هذه الحالة، ويبقى النوع غير مُكتملًا حتى الوصول لنقطة التعريف.

سنناقش المزيد عن الأنواع غير المكتملة لاحقًا.

### 5.7.1 التحويلات

يمكن تحويل المؤشرات التي تشير إلى `void` إلى مؤشرات تشير إلى أي كائن أو نوع غير مكتمل، وتحصل على قيمةٍ مساوية لقيمة المؤشر الأصل بعد تحويل مؤشر يشير إلى كائن أو نوع غير مكتمل إلى مؤشر من نوع `void *`:

```
int i;
int *ip;
void *vp;

ip = &i;
vp = ip;
ip = vp;
if(ip != &i)
```

```
        printf("Compiler error\n");
```

يمكن تحويل مؤشر من نوع غير مؤهّل unqualified إلى مؤشر من نوع مؤهـل، ولكن العكس غـير ممكن، وستكون قيمة المؤشرين متكافئتين:

```
int i;
int *ip;
const int *cpi;

ip = &i;
cpi = ip;       /* مسموح*/
if(cpi != ip)
      printf("Compiler error\n");
ip = cpi;       /* ممنوع */
```

لا يساوي مؤشر ثابت فار غ constant pointer null (سنتكلم عن هذا النوع لاحقًا) أيّ مؤشـر يشـير لأي كائن أو دالة.

## 5.7.2 العمليات الحسابية

يمكن للتعابير Expressions أن تجمع (أو تطرح، وهو ما يكافئ جمع قيم سالبة) أعدادًا صـحيحةً إلى قيمـة المؤشرات بغض النظر عن نوع الكائن الذي تشير إليه، وتكون النتيجـة مماثلـةً لنـوع المؤشـر؛ وفي حالـة إضـافة القيمة n، فسيشير المؤشر إلى العنصر الذي يلي العنصر السابق ضمن المصفوفة بمقدار n، والاسـتخدام الأكـثر شيوعًا لهذه الميزة هي بإضافة 1 إلى المؤشر لتمريره على المصفوفة من بدايتها إلى نهايتها، إلا أن اسـتخدام قيم مغايرة للقيمة 1 والطرح بدلًا من الجمع ممكن.

نحصل على حالة طفحان overflow أو طفحان تجاوز الحـد الأدنى underflow إذا كـان المؤشـر النـاتج عن عملية الجمع يشير إلى ما يسبق المصفوفة أو ما يلي العنصر المعدوم الأخير للمصفوفة، وهذا يعـني أن النتيجـة غير مُعرّفة.

يملك العنصر الأخير الزائد في المصفوفة عنوانًا صالحًا، ويؤكد المعيار لنا ذلك، إلا أنه ليس من المفترض أن تحاول الوصول إلى ذلك العنصر، وعنوانه موجودٌ للتأكد من وجوده لتجنُّب الوقوع في حالة طفحان.

تعمّدنا استخدام الكلمة "تعبير" عوضًا عن قولنا "إضافة قيمة إلى المؤشر بنفسه"، إلا أنه يمكنك فعل ذلـك شرط ألا يكون المؤشر مؤهلًا بالكلمة المفتاحية "const"، ويكافئ طبعًـا اسـتخدام عامـل الزيـادة "++" وعامـل النقصان "--" جمع أو طرح واحد.

يمكن طرح مؤشرين من **أنواع متوافقة compatible types** أو غير مؤهلة من بعضهما بعضًا، وتكون النتيجة من النوع "ptrdiff_t"، المعرّف في ملف الترويسة `stddef.h`، إلا أنه يجب أن يشير كلا المؤشرين إلى المصفوفة ذاتها، أو على الأقل أن يشير واحدًا منها إلى ما بعد أو قبل المصفوفة، وإلا سنحصل على سلوك غير محدد، وتكون نتيجة عملية الطرح هي عدد العناصر التي تفصل المؤشرين ضمن المصفوفة. إليك المثال التالي:

```
int x[100];
int *pi, *cpi = &x[99]; /* cpi يشير إلى العنصر الأخير من ال x*/

pi = x;
if((cpi - pi) != 99)
      printf("Error\n");

pi = cpi;
pi++;                   /* increment past end of x */
if((pi - cpi) != 1)
      printf("Error\n");
```

### 5.7.3 التعابير العلاقية

تسمح لنا التعابير العلاقية بالمقارنة بين المؤشرات، لكن يمكنك فقط مقارنة:

- المؤشرات التي تشير لكائنات ذات أنواع متوافقة مع بعضها الآخر.
- المؤشرات التي تشير لأنواع غير مكتملة متوافقة مع بعضها الآخر.

ولا يهم إذا كانت الأنواع المُشارة إليها مؤهلة أو غير مؤهلة.

إذا تساوت قيم مؤشرين، فهذا يعني أن المؤشرين يشيران إلى الشيء ذاته، سواءٌ كان هذا الشيء كائنًا أو عنصرًا غير موجودًا خارج مصفوفة ما (راجع فقرة العمليات الحسابية أعلاه). تقدِّم العوامل العلاقية "<" و "<=" وغيرها النتيجة التي تتوقعها عند استخدامها مع المؤشرات ضمن نفس المصفوفة، وإذا كانت قيمة أحد المؤشرات أقل مقارنةً مع الآخر، فهذا يعني أنه يشير لقيمةٍ أقرب لمقدمة المصفوفة (العنصر ذو الدليل index الأقل).

يمكن إسناد مؤشر فارغ ثابت إلى مؤشر آخر، وسيكون متساوي مع مؤشر فارغ ثابت آخر إذا فحصناهما باستخدام عامل المقارنة، بينما لن يتساوى مؤشر فارغ ثابت أو غير ثابت عند مقارنتهما مع أي مؤشر آخر يشير لشيءٍ ما.

### 5.7.4 الإسناد

يمكنك استخدام المؤشرات مع عوامل الإسناد، شرط أن يستوفي الاستخدام الشروط التالية:

- يجب أن يكون الجانب الأيسر من عامل الإسناد مؤشرًا، وأن يكون الجانب الأيمن منه مؤشرًا فارغًا ثابتًا.
- يجب أن يكون مُعاملٌ من المعاملات مؤشرًا يشير إلى كائن أو نوع غير مُكتمل، والمعامل الآخر مؤشرًا إلى الفراغ "void"، سواءٌ كان مؤهلًا أو لا.
- يُعدّ المُعاملان مؤشرين لأنواع متوافقة سواءٌ كانت مؤهلةً أم لا.

يجب أن يكون للنوع المُشار إليه في الحالتين الأخيرتين على الجانب الأيسر من عامل الإسناد النوع ذاته من المؤهلات على الأقل، والموافق لمؤهل النوع الواقع على الجانب الأيمن من عامل الإسناد، أو أكثر من مؤهل مماثل.

يمكنك إذًا إسناد مؤشر يشير إلى قيمة صحيحة "int" إلى مؤشر يشير إلى قيمة من نوع عدد صحيح ثابت "const int" (مؤهلات النوع الأيسر تزيد عن مؤهلات النوع الأيمن) ولكن لا يمكنك إسناد مؤشر يشير إلى "const int" إلى مؤشر يشير إلى "int"، والأمر منطقي جدًا إذا أخذت لحظةً للتفكير به.

يمكن استخدام العاملين "+=" و "-=" مع المؤشرات طالما أن الجانب الأيسر من العامل مؤشر يشير إلى كائن، والجانب الأيمن من العامل تعبير ينتج قيمةً صحيحة integral، وتوضح قوانين العمليات الحسابية في الفقرات السابقة ما سيحصل في هذه الحالة.

### 5.7.5 العامل الشرطي

وضّحنا سابقًا سلوك العامل الشرطي conditional operator عند استخدامه مع المؤشرات.

## 5.8 المصفوفات وعامل & والدوال

ذكرنا عدّة مرات أنه يجري تحويل اسم المصفوفة إلى عنوانها وعنصرها الأول، وقلنا أن الاستثناء الوحيد هو عند استخدام اسم المصفوفة مع عامل "sizeof"، وهو عاملٌ مهمٌ إذا أردت استخدام الدالة "malloc"، إلا أن هناك استثناءً آخر، ألا وهو عندما يكون اسم المصفوفة مُعاملًا لعامل "&" (عنوان العامل)، إذ يُحوّل اسم المصفوفة هنا إلى عنوان **كامل** المصفوفة بدلًا من عنوان عنصرها الأول عادةً، لكن ما الفرق؟ لعلك تعتقد أن العنوانين متماثلان، إلا أن الفرق هو نوعهما، فبالنسبة لمصفوفةٍ تحتوي "n" عنصر بنوع "T"، يكون عنوان عنصرها الأول من نوع "مؤشر إلى T"، بينما يكون عنوان كامل المصفوفة من نوع " مؤشر إلى مصفوفة من n عنصر من نوع T"، وهو مختلف جدًا. إليك مثالًا عن ذلك:

```
int ar[10];
int *ip;
int (*ar10i)[10];       /* مؤشر لمصفوفة من 10 عناصر صحيحة */

ip = ar;                /* عنوان العنصر الأول */
ip = &ar[0];            /* عنوان العنصر الأول */
ar10i = &ar;            /* عنوان كامل المصفوفة */
```

أين تُستخدم المؤشرات إلى المصفوفات؟ في الحقيقة ليس غالبًا، إلا أننا نعلم أن التصريح عن مصفوفة متعددة الأبعاد هو في الحقيقة تصريح عن مصفوفة مصفوفات. إليك مثالًا يستخدم هذا المفهوم (إلا أن فهم ما يفعل يقع على عاتقك)، وليس من الشائع استخدام هذه الطريقة:

```
int ar2d[5][4];
int (*ar4i)[4]; /* مؤشر إلى مصفوفة من 4 أعداد صحيحة */

for(ar4i= ar2d; ar4i < &(ar2d[5]); ar4i++)
      (*ar4i)[2] = 0; /* ar2d[n][2] = 0 */
```

ما قد يثير اهتمامك أكثر من عناوين المصفوفات هو ما الذي قد يحدث عندما نصرِّح عن دالة تأخذ مصفوفةً في أحد وسطائها. بالنظر إلى أن المصفوفة تحوّل إلى عنوان عنصرها الأول فحتى لو حاولت تمرير مصفوفة إلى دالة باستخدام اسم المصفوفة وسيطًا، فسينتهي بك الأمر بتمرير مؤشر إلى عنصر المصفوفة الأول. لكن ماذا لو صرّحت عن الدالة بكونها تأخذ وسيطًا من نوع "مصفوفة من نوع ما" على النحو التالي:

```
void f(int ar[10]);
```

ما الذي يحدث في هذه الحالة؟ قد تفاجئك الإجابة هنا، إذ أن المصرّف ينظر إلى السطر السابق ويقول لنفسه "سيكون هذا مؤشرًا لهذه المصفوفة" ويعيد كتابة الوسيط على أنه من نوع مؤشر، ووفقًا لذلك نجد أن التصريحات الثلاثة التالية متكافئة:

```
void f(int ar[10]);
void f(int *ar);
void f(int ar[]);       /* حجم المصفوفة هنا لا علاقة له! */
```

قد تضع يدك على رأسك بعد هذه المعلومة، لكن تمهّل! إليك بعض الأسئلة للتهدئة من غضبك وإحباطك:

- لم كانت المعلومة السابقة منطقية؟
- لماذا تعمل التعابير بالصياغة `ar[5]` أو أي صياغةٍ أخرى ضمن التصريح عن دالة، ثم داخل الدالة كما هو متوقعٌ منها؟

فكّر في الأسئلة السابقة، وستفهم استخدام المؤشرات مع المصفوفات بصورةٍ ممتازة عندما تتوصل لإجابة ترضيك.

## 5.9 خاتمة

قدّم هذا الفصل شرحًا عن المصفوفات والمؤشرات ومخصّصات المساحة، وسنجد أن المفهوم الأخير عظيم الفائدة في الفصول القادمة، بينما ستبرز أهمية المفهومين الآخرين بالنسبة للغة سي C ككُل.

**لا** يمكنك استخدام لغة سي بصورةٍ صحيحة دون فهم استخدام المؤشرات. تتصف المصفوفات بالسهولة باستثناء حالة استخدامها ضمن تعبير ما، وعندها سيُحوَّل اسم المصفوفة إلى مؤشر يشير إلى عنصرها الأول (نُعيد هذا الأمر لضرورته، فتذكره جيّدًا).

قد يتفاجأ بعض الناس من السلوك الذي تسلكه لغة سي للتعامل مع السلاسل النصية، إلا أنه مرنٌ وجيدٌ، خصوصًا محرف الفراغ الزائد الذي يُنهي المصفوفة، وقد يدفع هذا الاعتقاد بعض الناس بالنظر إلى لغة سي بكونها لغةً تركّز على المحارف دونًا عن غيرها لافتقادها أدوات التعامل مع السلاسل النصية والتلاعب فيها وسيكون هذا الاعتقاد صائبًا، وتُعد هذه النقطة في صالح لغة سي مقارنةً بالحلول التي تتبناها لغات البرمجة الأخرى بخصوص سرعة التنفيذ، إلا أن الأمر يصعّب من مهمة المبرمج لا شك.

العمليات الحسابية على المؤشرات سهلةٌ ومنطقية، ويعدّ تعلمها تحديًا لمبرمج اعتاد العمل مع لغة تجميعيّة، نظرًا لاعتياده على ترجمة التعبير إلى ما تفعله الآلة (بحكم ممارسته)، إلا أن تعلمها أصعب بكثير على الناس الذين ليس لهم أي خبرة أو علم بأنواع المؤشرات المختلفة غير المتكافئة. حاول التخلص من فكرة أن المؤشرات تحتوي على عناوين (بمفهوم العتاد الصلب) وسيسهل عليك فهم الأمر.

تُعد طريقة الحصول على مساحات تخزينية ذات سعة محددة باستخدام "malloc" وما يترتب على هذه الطريقة مهمًّا جدًا، وربما تختار تفادي هذه الطريقة للوقت الحالي، لكن تجنّب إهمال هذا الجانب من اللغة، فالسمة الواضحة لمبرمجي لغة سي الهواة هي استخدامهم مصفوفات ذات سعة محدّدة مسبقًا، إذ تعطي الدالة "malloc" وسيلةً مرنةً لحجز المساحة، ويستحق الأمر تعلمها وإتقانها بلا شك.

ستساعدك الأمثلة المذكورة في هذا الفصل على فهم استخدام "sizeof" وتصحيح بعض المفاهيم الخاطئة عن هذا العامل وما الذي يفعله، ولعلك لن تستخدمه على نحوٍ متكرّر إلا أنه الخيار الوحيد عندما تحتاج إليه، ولا بديل عنه.

## 5.10 تمارين

1. ما النطاق الصالح لأدلة مصفوفة تحتوي على عشر كائنات (عناصر)؟
2. ما الذي سيحدث إذا حصلت على قيمة عنوان العنصر الحادي عشر للمصفوفة السابقة؟
3. ما هي الحالات الصالحة التي يمكننا مقارنة مؤشرين فيها؟
4. ما استخدام المؤشر من نوع void؟
5. اكتب دوالًّا تحقق التالي:

1. دالة تقارن سلسلتين نصيتين وتبحث عن المساواة، وتعيد القيمة "0" إن تساوت السلسلتين، أو تُعيد فرق القيمة بين أول محرفين غير متماثلين عدا ذلك.
2. دالة تجد أول ظهور لمحرف في سلسلة نصية ما، وتعيد مؤشرًا إلى المحرف ضمن السلسلة، أو القيمة صفر إن لم يوجد المحرف المطلوب ضمن السلسلة.
3. دالة تأخذ سلسلتين نصيتين وسيطين لها، وتعيد مؤشرًا في حال كانت السلسلة النصية الأولى مُحتواة داخل السلسلة النصية الثانية مثل سلسلة فرعية substring، بحيث يشير المؤشر إلى أول ظهور للسلسلة، أو إعادة القيمة صفر في حال عدم إيجاد نتيجة.

6. اشرح الأمثلة التي وردت سابقًا باستخدام الدالة "malloc" لشخص آخر.

# دورة إدارة تطوير المنتجات

تعلم تحويل أفكارك لمنتجات ومشاريع حقيقية بدءًا من دراسة السوق
وتحليل المنافسين وحتى إطلاق منتج مميز وناجح

**التحق بالدورة الآن**

# 6. هياكل البيانات

## 6.1 لمحة تاريخية

اتجه تطوير لغات الحاسوب سابقًا في اتجاهٍ من اتجاهين، إذ سلكت كوبول COBOL سلوكًا ركز على استخدام هياكل البيانات بعيدًا عن العمليات الحسابية والخوارزميات، بينما سلكت لغات مثل فورتران FORTRAN وألغول Algol سلوكًا معاكسًا. أراد العلماء وقتها إجراء العمليات الحسابية باستخدام بيانات غير مُهيكلة نسبيًا، إلا أنه سرعان ما لاحظ الجميع أن استخدام المصفوفات لا غنى عنه؛ بينما أراد المستخدمون الاعتياديون طريقةً لإجراء العمليات الحسابية البسيطة فقط، إلا أن طريقة هيكلة البيانات كانت عائقًا أمام تحقيق ذلك.

أثر كلا السلوكين في تصميم لغة سي، إذ أنها تحتوي تحكمًا هيكليًا لتدفق البرنامج مناسب للغة من هذا العمر، كما أنها جعلت من مفهوم هياكل البيانات شائعًا. ركزنا على جانب الخوارزميات من اللغة حتى اللحظة، ولم نولي الكثير من الانتباه بخصوص تخزين البيانات، ومع أننا تطرقنا إلى المصفوفات التي تُعدّ هيكل بيانات إلا أنها شائعة الاستخدام وبسيطة ولا تستحق فصلًا مخصصًا لها، واكتفينا إلى الآن بالنظر إلى اللغة انطلاقًا من بينة هيكلية شبيهة بلغة فورتران.

كان استخدام كلٍ من البيانات والخوارزميات هو التوجه الأكثر رواجًا في أواخر ثمانينيات وبداية تسعينيات القرن الماضي، وفق ما يُدعى بالبرمجة كائنية التوجه Object-Oriented Programming. لا يوجد أي دعم لهذه الطريقة في لغة سي، إلا أن لغة C++ قدمت دعمًا لها (وهي لغةٌ مبنيةٌ على لغة سي)، ولكن هذا النقاش خارج موضوعنا حاليًا.

تأخذ البيانات الانتباه الأكبر لمعظم مشاكل الحوسبة المتقدمة وليس الخوارزميات، فستكون مهمتك بسيطةً ببرمجة البرنامج إن استطعت تصميم هياكل بيانات صحيحة ومناسبة، إلا أنك تحتاج إلى دعمٍ من اللغة

في هذه الحالة، فمهمتك ستصبح أقل سهولة ومعرضةً أكثر للأخطاء إن لم يكن هناك أي دعم لأنواع هياكل البيانات المختلفة عن المصفوفات. تقع هذه المهمة على كاهل لغة البرمجة، فليس كافيًا أن تسمح لك اللغة بفعل ما تريد، بل يجب أن **تساعدك** في فعل ما تريد.

تقدم لك لغة سي سعيًا منها بتقديم هياكل بيانات مناسبة كلًا من المصفوفات Arrays والهياكل Structures والاتحادات Unions، وقد برهنت على أنها كافيةٌ لمعظم المستخدمين الاعتياديين وبالتالي لم يُضِف المعيار أي جديد بشأنها.

## 6.2 الهياكل Structures

تسمح لك المصفوفات بتخزين مجموعة من الكائنات المتماثلة تحت اسم معين، وهذا مفيدٌ لعدد من المهام، ولكنه ليس مرن التعامل، إذ تحتوي معظم كائنات البيانات ذات التطبيقات الواقعية على هيكل معيّن معقد لا يمكن استخدامه مع طريقة تخزين المصفوفة للبيانات.

لنوضح ما سبق بالمثال التالي: لنفرض أننا نريد تمثيل سلسلةٍ نصية ذات خصائص معينة، بجانب محتواها. هناك نوع الخط وحجمه، وهما سمتان لا تؤثران في محتوى السلسلة، لكنهما تحددان الطريقة التي تُعرض فيها السلسلة على الشاشة سواءٌ كان النص **مكتوبًا بخط غامق** أو *مائل*، والأمر ذاته ينطبق على حجم الخط. كيف نستطيع تمثيل السلسلة النصية بكائن واحد ضمن مصفوفة إذا كان يحتوي على ثلاث سمات مختلفة؟

يمكننا تحقيق ذلك في لغة سي C بسهولة، حاول أولًا تمثيل السمات الثلاث باستخدام الأنواع الأساسية، فعلى فرض أنه يمكننا تخزين كل محرف باستخدام النوع `char`، يمكننا الإشارة إلى نوع الخط المستخدم باستخدام النوع `short` (نستخدم "1" للإشارة إلى الخط الاعتيادي و"2" للخط المائل و"3" للخط الغامق، وهكذا)، كما يمكننا تخزين حجم الخط باستخدام النوع `short`، وتُعد جميع الفرضيات السابقة معقولةً عمليًا، إذ تدعم معظم الأنظمة عددًا قليلًا من الخطوط مهما كانت هذه الأنظمة معقدة، ويتراوح حجم الخط بين 6 ومرتبة المئات القليلة، فأي خط أصغر من 6 هو صعب القراءة، والخط الأكبر من 50 هو خط أكبر من خطوط عناوين الجرائد. إذًا، لدينا الآن محرف وعددين صغيرين وتُعامل هذه البيانات معاملة كائن واحد، إليك كيف نصرّح عن ذلك في لغة سي:

```
struct wp_char{
      char wp_cval;
      short wp_font;
      short wp_psize;
};
```

يصرح ما سبق عن نوع جديد من الكائنات يمكنك استخدامه ضمن البرنامج، ويعتمد الأمـر بصـورةٍ رئيسـية على ذكر الكلمة المفتاحية `struct`، المتبوعة بمعرّف identifier اختياري هو الوسم `wp_char` في هذه الحالة، ويسمح لنا هذا الوسم بتسمية النوع للإشارة إليه فيما بعد. يمكننـا أيضًـا اسـتخدام الوسـم بالطريقـة التاليـة بعـد التصريح عنه:

```
struct wp_char x, y;
```

يُعرّف ما سبق متغيرين باسم `x` و `y`، بالطريقة ذاتها للتعريف التالي:

```
int x, y;
```

لكن المتغيرات في المثال الأول من نوع `struct  wp_char` عوضًا عن `int` في المثـال الثـاني، ويمثّـل الوسم اسمًا للنوع الذي صرحنا عنه سابقًا.

نذّكر هنا أنه من الممكن استخدام اسم وسم الهيكل مثل أي معرّف اعتيادي بصورةٍ آمنة، ويـدل الاسـم على معنًى مختلف عندما يُسبق بالكلمة المفتاحية `struct` فقط، ومن الشائع أن يُعرّف كائن مُهيكـل باسـم مماثـل لوسم الهيكل الخاص به.

```
struct wp_char wp_char;
```

يُعرّف السطر السابق متغيرًا باسم `wp_char` من النوع `struct wp_char`، ويمكننا فعل ذلك لأن لوسوم الهياكل "فضاء أسماء name  space" خاصة بها ولا تتعارض مع الأسـماء الأخـرى، وسـنتكلم أكـثر عن الوسـوم عندما نناقش "الأنواع غير المكتملة incomplete types".

يمكن التعريف عن المتغيرات على الفور عقب التصريح عن هيكل ما:

```
struct wp_char{
      char wp_cval;
      short wp_font;
      short wp_psize;
}v1;

struct wp_char v2;
```

لدينا في هذه الحالـة متغـيرين، أحـدهما باسـم `v1` والآخـر باسـم `v2`، وإذا اسـتخدمنا الطريقـة السـابقة في التعريف عن `v1`، يصبح الوسم غير ضروري ويُتخلّى عنه غالبًا إلا في حال احتجنا إلى الوسم لاستخدامه مع عامـل `sizeof` والتحويل بين الأنواع casts.

يُعد المتغيران السابقان كائنات مُهيكلة، ويحتوي كل منهما على ثلاثة **أعضاء members** مستقلين عن بعضهم باسم `wp_cval` و `wp_font` و `wp_psize`، ونستخدم عامل النقطة `.` للوصول إلى كلّ من الأعضاء السابقة على النحو التالي:

```
v1.wp_cval = 'x';
v1.wp_font = 1;
v1.wp_psize = 10;

v2 = v1;
```

تُضبط أعضاء المتغير `v1` في المثال السابق إلى قيمها المناسبة، ومن ثم تُنسخ قيم `v1` إلى `v2` باستخدام عملية الإسناد.

في الحقيقة، العملية الوحيدة المسموحة في الهياكل بكاملها هي الإسناد؛ إذ يمكن إسناد الهياكل إلى بعضها بعضًا أو تمريرها مثل وسطاء للدوال أو قيمةٍ تُعيدها دالةٌ ما، إلا أن نسخ الهياكل عمليةٌ غير فعالة وتتفاداها معظم البرامج عن طريق التلاعب بالمؤشرات التي تشير إلى الهياكل عوضًا عن ذلك، إذ من الأسرع عمومًا نسخ المؤشرات عوضًا عن الهياكل. تسمح اللغة بمقارنة الهياكل بحثًا عن المساواة فيما بينها، وهي سهوة مفاجئة ولا يوجد سبب مقنع لسماحها بذلك كما سنذكر قريبًا.

إليك مثالًا يستخدم مصفوفةً من الهياكل، وهو الهيكل ذاته الذي تكلمنا عنه سابقًا، إذ تُستخدم دالةٌ لقراءة المحارف من دخل البرنامج القياسي وتُعيد هيكلًا مهيّأً بقيمٍ مناسبة مقابله، ومن ثم تُرتّب الهياكل بحسب قيمة كل محرف وتُطبع وذلك عندما يُقرأ محرف سطر جديد، أو عندما تمتلئ المصفوفة.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define ARSIZE 10

struct wp_char{
      char wp_cval;
      short wp_font;
      short wp_psize;
}ar[ARSIZE];

/* نوع دخل الدالة الذي كان من الممكن التصريح عنه سابقًا، وتعيد الدالة هيكلًا ولا تأخذ أي وسطاء */
struct wp_char infun(void);
```

```
main(){
	int icount, lo_indx, hi_indx;

	for(icount = 0; icount < ARSIZE; icount++){
		ar[icount] = infun();
		if(ar[icount].wp_cval == '\n'){
			/*
			 * غادر الحلقة التكرارية
			 *  icount دون زيادة قيمة
			 * \n مع تجاهل
			 */
			break;
		}
	}

	/* نجري الآن عملية الترتيب */

	for(lo_indx = 0; lo_indx <= icount-2; lo_indx++)
		for(hi_indx = lo_indx+1; hi_indx <= icount-1; hi_indx++)
{
			if(ar[lo_indx].wp_cval > ar[hi_indx].wp_cval){
				/*
				 * التبديل بين الهيكلين
				 */
				struct wp_char wp_tmp = ar[lo_indx];
				ar[lo_indx] = ar[hi_indx];
				ar[hi_indx] = wp_tmp;
			}
		}

	/* طباعة القيم */
	for(lo_indx = 0; lo_indx < icount; lo_indx++){
		printf("%c %d %d\n", ar[lo_indx].wp_cval,
				ar[lo_indx].wp_font,
				ar[lo_indx].wp_psize);
	}
	exit(EXIT_SUCCESS);
```

```
}

struct wp_char
infun(void){
      struct wp_char wp_char;

      wp_char.wp_cval = getchar();
      wp_char.wp_font = 2;
      wp_char.wp_psize = 10;

      return(wp_char);
}
```

[مثال 1]

من الطبيعي أن نلجأ إلى التصريح عن مصفوفات من الهياكل حالما نستطيع ونتعلم كيفية التصريح عنها، وأن نستخدم هذه الهياكل عناصر لهياكل أخرى وما إلى ذلك، والقيد الوحيد هنا هو أنه لا يمكن للهيكل أن يحتوي مثالًا لنفسه على أنه عضو داخله (يصبح حينها حجمها موضع جدل مثير للفلاسفة، ولكنه غير مفيد لأي مبرمج سي C).

### 6.2.1 المؤشرات والهياكل

ذكرنا سابقًا أنه من الشائع استخدام المؤشرات في الهياكل بدلًا من استخدام الهياكل مباشرةً، لنتعلم كيفية تحقيق ذلك إذًا. يُعد التصريح عن المؤشرات سهلًا، ونعتقد أنك أتقنته:

```
struct wp_char *wp_p;
```

يمنحنا التصريح السابق مؤشرًا مباشرةً، ولكن كيف يمكننا الوصول إلى أعضاء الهيكل؟ تتمثل إحدى الطرق باستخدام المؤشر الذي يشير إلى الهيكل، ثم اختيار العضو على النحو التالي:

```
/*نحصل على الهيكل ومن ثم نحدد العضو */
(*wp_p).wp_cval
```

نستخدم الأقواس لأن أسبقية عامل النقطة . أعلى من *، إلا أن الطريقة السابقة غير سهلة التعامل وقدمت لغة سي نتيجة لذلك عاملًا جديدًا لجعل التعليمة أنيقة ويُعرف باسم العامل "المُشير إلى pointing-to"، إليك مثالًا عن استخدامه:

```
// wp_cval العضو الذي يشير إليه المؤشر wp_p في الهيكل
wp_p->wp_cval = 'x';
```

ومع أن مظهره غير مثالي، إلا أنه مفيد جدًا في حال احتواء هيكل ما على المؤشرات، مثل القوائم المترابطة Linked list، إذ أن استخدام الطريقة السابقة أسهل بكثير إن أردت تتبع مرحلة أو مرحلتين من الروابط ضمن قائمة مترابطة. إذا لم تصادف القوائم المترابطة بعد، فلا تقلق، إذ سنتطرق إليها لاحقًا.

إذا كان الكائن على يسار العامل `.` أو `->` نوعًا مؤهّلًا qualified type (باستخدام الكلمة المفتاحية `const` أو `volatile`)، فستكون النتيجة أيضًا معرفةً حسب هذه المؤهلات qualifiers. إليك مثالًا عن ذلك باستخدام المؤشرات؛ فعندما يشير المؤشر إلى نوع مؤهل، تكون النتيجة من نوع مؤهل أيضًا.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

struct somestruct{
      int i;
};

main(){
      struct somestruct *ssp, s_item;
      const struct somestruct *cssp;

      s_item.i = 1;    /* مسموح */
      ssp = &s_item;
      ssp->i += 2;     /* مسموح */
      cssp = &s_item;
      cssp->i = 0;     /*يشير إلى كائن ثابت cssp غير مسموح لأن المؤشر */

      exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

يبدو أن بعض مبرمجي المصرّفات نسوا هذا المتطلب، إذ استخدمنا مصرفًا لتجربة المثال السابق ولم يحذرنا بخصوص الإسناد الأخير الذي خرق القيد.

إليك المثال 1 مكتوبًا باستخدام المؤشرات، وبتغيير دالة الدخل `infun` بحيث تقبل مؤشرًا يشير إلى هيكل بدلًا من إعادة مؤشر، وهذا ما ستراه على الأغلب عندما تنظر إلى بعض البرامج العملية.

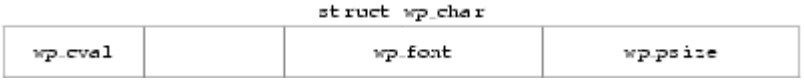
نتخلى عن نسخ الهياكل في البرامج إن أردنا زيادة فاعلية تنفيذها ونستخدم بدلًا من ذلك مصفوفات تحتوي على مؤشرات؛ إذ تُستخدم هذه المؤشرات للحصول على البيانات المخزنة، إلا أن هذه الطريقة ستزيد من تعقيـد الأمور، ولا تستحق العناء في التطبيقات البسيطة.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define ARSIZE 10

struct wp_char{
	char wp_cval;
	short wp_font;
	short wp_psize;
}ar[ARSIZE];

void infun(struct wp_char *);

main(){
	struct wp_char wp_tmp, *lo_indx, *hi_indx, *in_p;

	for(in_p = ar; in_p < &ar[ARSIZE]; in_p++){
		infun(in_p);
		if(in_p->wp_cval == '\n'){
			/*
			 * غادر الحلقة التكرارية
			 *  in_p دون زيادة قيمة
			 * \n مع تجاهل
			 */
			break;
		}
	}

	/*
	 * نبدأ بترتيب القيم
	 * علينا الحرص هنا وتجنب حالة طفحان
	 * لذا نتفقد دائمًا وجود قيمتين لترتيبهما
```

```
         */

        if(in_p-ar > 1) for(lo_indx = ar; lo_indx <= in_p-2; lo_indx++){
                for(hi_indx = lo_indx+1; hi_indx <= in_p-1; hi_indx++){
                        if(lo_indx->wp_cval > hi_indx->wp_cval){
                                /*
                                 * التبديل بين الهيكلين
                                 */
                                struct wp_char wp_tmp = *lo_indx;
                                *lo_indx = *hi_indx;
                                *hi_indx = wp_tmp;
                        }
                }
        }

        /* طباعة القيم */
        for(lo_indx = ar; lo_indx < in_p; lo_indx++){
                printf("%c %d %d\n", lo_indx->wp_cval,
                                lo_indx->wp_font,
                                lo_indx->wp_psize);
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}

void
infun( struct wp_char *inp){

        inp->wp_cval = getchar();
        inp->wp_font = 2;
        inp->wp_psize = 10;

        return;
}
```

[مثال 2]

هناك مشكلةٌ أخرى يجب النظر إليها، ألا وهي كيف سيبدو الهيكل عند تخزينه في الذاكرة؟ إلا أننا لن نقلق بهذا الخصوص كثيرًا في الوقت الحالي، ولكن من المفيد أن تستخدم في بعض الأحيان هياكل لغة سي C مكتوبة بواسطة برامج أخرى. تُحجز المساحة للهيكل `wp_char` كما هو موضح على النحو التالي:




الشكل 9: مخطط تخزين الهيكل

يفترض الشكل بعض الأشياء مسبقًا: يأخذ المتغير من نوع `char` بايتًا واحدًا من الذاكرة، بينما يأخذ `short` 2 بايت من الذاكرة، وأن لجميع المتغيرات من نوع `short` عنوانًا زوجيًا على هذه المعمارية، ونتيجةً لما سبق يبقى عضو واحد بحجم 1 بايت ضمن الهيكل دون تسمية مُدخل من المصرف وذلك لأغراض تتعلق بمعمارية الذاكرة. القيود السابقة شائعة الوجود وتتسبب غالبًا بما يسمى هياكل ذات "ثقوب holes".

تضمن لغة سي المعيارية بعض الأمور بخصوص تنسيق الهياكل والاتحادات:

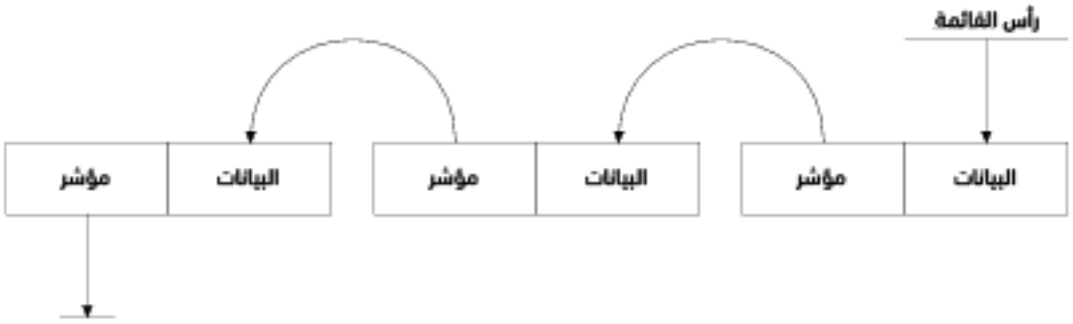
- تُحجز الذاكرة لكلٍ من أعضاء الهياكل بحسب الترتيب التي ظهرت بها هذه الأعضاء ضمن التصريح عن الهيكل وبترتيبٍ تصاعدي للعناوين.
- لا يجب أن يكون هناك أي حشو padding في الذاكرة أمام العضو الأول.
- يماثل عنوان الهيكل عنوان العضو الأول له، وذلك بفرض استخدام تحويل الأنواع casting المناسب، وبالنظر إلى التصريح السابق للهيكل `wp_char` فإن التالي محقق:

```
(char *)item == &item.wp_cval
```

- ليس لحقول البتات bit fields (سنذكرها لاحقًا) أي عناوين، فهي محزّمةٌ تقنيًا إلى وحدات units وتنطبق عليها القوانين السابقة.

## 6.2.2 القوائم المترابطة وهياكل أخرى

يفتح استخدام الهياكل مع المؤشرات الباب لكثيرٍ من الإمكانات. لسنا بصدد تقديم شرح مفصل ومعقد عن هياكل البيانات المترابطة هنا، ولكننا سنشرح مثالين شائعين جدًا من هذه الطبيعة، ألا وهما القوائم المترابطة Linked lists والأشجار Trees، ويجمع بين الهيكلين السابقين استخدام المؤشرات بداخلهما تشير إلى هياكل أخرى، وتكون الهياكل الأخرى عادةً من النوع ذاته. يوضح الشكل 2 طبيعة القائمة المترابطة.




الشكل 10: قائمة مترابطة باستخدام المؤشرات

نحتاج للحصول على ما سبق إلى لتصريح عنه بما يوافق التالي:

```
struct list_ele{
      int data;        /* تستطيع تسمية العضو بأي اسم*/
      struct list_ele *ele_p;
};
```

يبدو للوهلة الأولى أن الهيكل يحتوي نفسه (وهو ممنوع) ولكن يحتوي الهيكل في حقيقة الأمر مؤشرًا يشير إلى نفسه فقط، لكن لمَ يُعد التصريح عن المؤشر بالشكل السابق مسموحًا؟ يعلم المصرف بحلول وصوله إلى تلك النقطة بوجود `struct list_ele`، ولهذا السبب يكون التصريح مسموح، ومن الممكن أيضًا كتابة تصريح غير مكتمل للهيكل على النحو التالي قبل التصريح الكامل:

```
struct list_ele;
```

يصرح التصريح السابق عن **نوع غير مكتمل incomplete type**، سيسمح بالتصريح عن المؤشرات قبل التصريح الكامل، يفيد ذلك أيضًا في حال وجود حالة للإشارة إلى هياكل فيما بينها التي يجب أن تحتوي مؤشرًا لكل منها كما هو موضح في المثال.

```
struct s_1;      /* نوع غير مكتمل */
struct s_2{
      int something;
      struct s_1 *sp;
};
struct s_1{      /* التصريح الكامل */
      float something;
      struct s_2 *sp;
};
```

[مثال 3]

يوضح المثال السابق حاجتنا للأنواع غير المكتملة، كما يوضح خاصيةً مهمةً لأسماء أعضاء الهيكل إذ يشكّل كل هيكل فضاء أسماء name space خاصٍ به، ويمكن بذلك أن تتماثل أسماء عناصر من هياكل مختلفة دون أي مشاكل.

تُستخدم الأنواع غير المكتملة فقط في حال لم نكن بحاجة استخدام حجم الهيكل، وإلا فيجب التصريح كاملًا عن الهيكل قبل استخدام حجمه، ولا يجب أن يكون هذا التصريح بداخل كتلة برمجية داخلية وإلا سيصبح تصريحًا جديدًا لهيكل مختلف.

```
struct x;       /* نوع غير مكتمل */

/* استخدام مسموح للوسوم */
struct x *p, func(void);

void f1(void){
      struct x{int i;};       /* إعادة تصريح */
}

/* التصريح الكامل */
struct x{
      float f;
}s_x;

void f2(void){
      /* تعليمات صالحة */
      p = &s_x;
      *p = func();
      s_x = func();
}

struct x
func(void){
      struct x tmp;
      tmp.f = 0;
      return (tmp);
}
```

[مثال 4]

يجدر الانتباه إلى أنك تحصل على هيكل من نوع غير مكتمل فقط عن طريق **ذكر اسمه**، وبناءً على ما سبق، تعمل الشيفرة التالية دون مشاكل:

```
struct abc{ struct xyz *p;};
      /* struct xyz تصريح النوع غير المكتمل */
struct xyz{ struct abc *p;};
      /* أصبح النوع غير المكتمل مكتملًا */
```

هناك خطرٌ كبير في المثال السابق، كما هو موضح هنا:

```
struct xyz{float x;} var1;

main(){
      struct abc{ struct xyz *p;} var2;

      /*  struct xyz إعادة تصريح للهيكل  */
      struct xyz{ struct abc *p;} var3;
}
```

نتيجةً لما سبق، يمكن للمتغير `var2.p` أن يخزن عنوان `var1`، وليس عنوان `var3` قطعًا الذي هو من نوع مختلف. يمكن تصحيح ما سبق (بفرض أنك لم تتعمد فعله) على النحو التالي:

```
struct xyz{float x;} var1;

main(){
      struct xyz;      /* نوع جديد غير مكتمل */
      struct abc{ struct xyz *p;} var2;
      struct xyz{ struct abc *p;} var3;
}
```

يُستكمل نوع الهيكل أو الاتحاد عند الوصول إلى قوس الإغلاق `}`، ويجب أن يحتوي عضوًا واحـدًا على الأقـل أو نحصل على سلوك غير محدد.

نستطيع الحصول على أنواع غير مكتملة عن طريق تصريح مصفوفة دون تحديد حجمها، ويصنف النوع على أنه غير مكتمل حتى يقدم تصريحًا آخرًا حجمها:

```
int ar[];       /* نوع غير مكتمل */
int ar[5];      /* نكمل النوع هنا */
```

سيعمل المثال السابق إن جربته فقط في حال كانت التصريحات خارج أي كتلة برمجية (تصريحات خارجية)، إلا أن السبب في ذلك ليس متعلقًا بموضوعنا.

بالعودة إلى مثال القوائم المترابطة، كان لدينا ثلاث عناصر مترابطة في القائمة، التي يمكن بناؤها على النحو التالي:

```
struct list_ele{
      int data;
      struct list_ele *pointer;
}ar[3];

main(){

      ar[0].data = 5;
      ar[0].pointer = &ar[1];
      ar[1].data = 99;
      ar[1].pointer = &ar[2];
      ar[2].data = -7;
      ar[2].pointer = 0;      /* ترميز نهاية المصفوفة */
      return(0);
}
```

[مثال 5]

يمكننا طباعة محتويات القائمة بطريقتين، إما بالمرور على المصفوفة بحسب دليلها index، أو باستخدام المؤشرات كما سنوضح في المثال التالي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

struct list_ele{
      int data;
      struct list_ele *pointer;
}ar[3];

main(){

      struct list_ele *lp;
```

```
        ar[0].data = 5;
        ar[0].pointer = &ar[1];
        ar[1].data = 99;
        ar[1].pointer = &ar[2];
        ar[2].data = -7;
        ar[2].pointer = 0;      /* ترميز نهاية المصفوفة */

        /* اتباع المؤشرات */
        lp = ar;
        while(lp){
                printf("contents %d\n", lp->data);
                lp = lp->pointer;
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 6]

الطريقة التي تُستخدم فيها المؤشرات في المثال السابق مثيرةٌ للاهتمام، لاحظ كيف أن المؤشر الذي يشير إلى عنصر ما يُستخدم للإشارة إلى العنصر الذي يليه حتى إيجاد المؤشر ذو القيمة 0، مما يتسبب بتوقف حلقة while التكرارية. يمكن ترتيب المؤشرات بأي طريقة وهذا ما يجعل القائمة هيكلًا مرن التعامل. إليك دالةً يمكن تضمينها مثل جزء من برنامجنا السابق بهدف ترتيب القائمة المترابطة بحسب قيمة بياناتها العددية، وذلك عن طريق إعادة ترتيب المؤشرات حتى الوصول إلى عناصر القائمة عند المرور عليها بالترتيب. من المهم أن نشير هنا إلى أن البيانات لا تُنسخ، إذ تعيد الدالة مؤشرًا إلى بداية القائمة لأن بدايتها لا تساوي إلى التعبير ar[0] بالضرورة.

```
struct list_ele *
sortfun( struct list_ele *list )
{

        int exchange;
        struct list_ele *nextp, *thisp, dummy;

        /*
         * الخوارزمية على النحو التالي:
```

```
         * البحث عبر القائمة بصورةٍ متكررة
         * إذا وجد عنصرين خارج الترتيب
         * اِربطهما بصورةٍ معاكسة
         * توقف عند المرور بجميع عناصر القائمة
         * دون أي تبديل مطلوب
         * يحدث الخلط عند العمل على العنصر خلف العنصر الأول المثير للاهتمام
         * وهذا بسبب الآليات البسيطة المتعلقة بربط العناصر وإلغاء ربطها
         */

        dummy.pointer = list;
        do{
                exchange = 0;
                thisp = &dummy;
                while( (nextp = thisp->pointer)
                        && nextp->pointer){
                        if(nextp->data < nextp->pointer->data){
                                /* exchange */
                                exchange = 1;
                                thisp->pointer = nextp->pointer;
                                nextp->pointer =
                                        thisp->pointer->pointer;
                                thisp->pointer->pointer = nextp;
                        }
                        thisp = thisp->pointer;
                }
        }while(exchange);

        return(dummy.pointer);
}
```

[مثال 7]

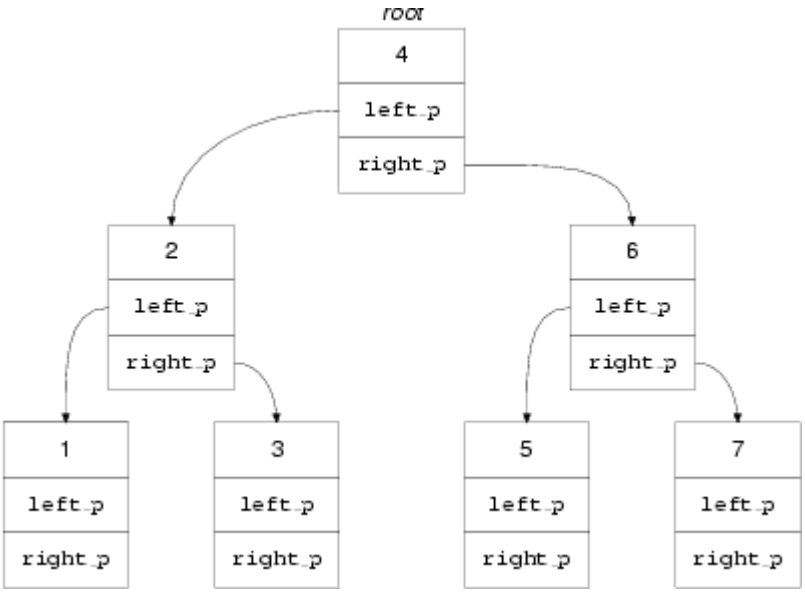
ستلاحظ استخدام تعابير مشابهة للتعبير `thisp->pointer->pointer` عند التعامل مع القوائم، وبالتالي يجب أن تفهم هذه التعابير، وهي بسيطة إذ يدل شكلها على الروابط المتبعة.

### 6.2.3 الأشجار

تُعد الأشجار هيكل بيانات شائع أيضًا، وهي في حقيقة الأمر قائمةٌ مترابطةٌ ذات فروع، والنوع الأكثر شـيوعًا هو **الشجرة الثنائية binary tree**، التي تحتوي على عناصر تُدعى العقد "nodes" كما يلي:

```
struct tree_node{
      int data;
      struct tree_node *left_p, *right_p;
};
```

تعمل الأشجار في علوم الحاسوب من الأعلى إلى الأسـفل (لأسـباب تاريخيـة لن نناقشـها)، إذ توجـد عقـدة **الجذر root** أعلى الشجرة وتتفرع فروع هذه الشجرة في الأسفل. تُستبدل بيانات أعضاء الهيكل الخاصة بالعقــد بقيمها في الشكل التالي والتي سنستخدمها لاحقًا.




الشكل 11: شجرة

لن تجذب الأشجار انتباهك إذا كان اهتمامك الرئيس هو التعامل مع المحارف والتلاعب بهـا، ولكنهـا مهمـة جدًا بالنسبة لمصمّمي كل من قواعد البيانات والمصرّفات والأدوات المعقدة الأخرى.

تتميز الأشجار بميزة خاصة جدًا ألا وهي أنها مرتبة، فيمكن أن تدعم بكل سهولة خوارزميات البحث الثنـائي، ومن الممكن دائمًا إضافة مزيدٍ من العقد الجديـدة إلى الشـجرة في الأمـاكن المناسـبة، فالشـجرة هيكـل بيانـات مفيدٌ ومرن.

بالنظر إلى الشكل السابق، نلاحظ أن الشجرة مبنيّةٌ بحرص حتى تكون مهمة البحث عن قيمة مـا في حقـول البيانات من العقد مهمةً سهلةً، وإن فرضنا أننا نريد أن نعرف فيما إذا كانت القيمـة x موجـودةً في الشـجرة عـبر البحث عنها، نتبع الخوارزمية التالية:

- نبدأ بعقدة جذر الشجرة:
  - إذا كانت الشجرة فارغة (لا تحتوي على عقد)
    - إعادة القيمة "فشل البحث"
  - إذا كانت القيمة التي نبحث عنها مساويةً إلى قيمة العقدة الحالية
    - إعادة القيمة "نجاح البحث"
  - إذا كانت القيمة في العقدة الحالية أكبر من القيمة التي نبحث عنها
    - ابحث عن القيمة في الشجرة المُشار إليها بواسطة المؤشر الأيسر
  - فيما عدا ذلك، ابحث عن القيمة في الشجرة المُشار إليها بواسطة المؤشر الأيمن

إليك الخوارزمية بلغة سي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
struct tree_node{
	int data;
	struct tree_node *left_p, *right_p;
}tree[7];
/*
* خوارزمية البحث ضمن الشجرة
* تبحث عن القيمةv في الشجرة
* تُعيد مؤشر يشير إلى أول عقدة تحوي النتيجة
* أو تُعيد القيمة 0
*/
struct tree_node *
t_search(struct tree_node *root, int v){

	while(root){
		if(root->data == v)
			return(root);
		if(root->data > v)
			root = root->left_p;
		else
			root = root->right_p;
```

```
        }
        /* لا يوجد أي شجرة متبقية ولم يُعثر على القيمة */
        return(0);
}

main(){
        /* بناء الشجرة يدويًا */
        struct tree_node *tp, *root_p;
        int i;
        for(i = 0; i < 7; i++){
                int j;
                j = i+1;

                tree[i].data = j;
                if(j == 2 || j == 6){
                        tree[i].left_p = &tree[i-1];
                        tree[i].right_p = &tree[i+1];
                }
        }
        /* الجذر */
        root_p = &tree[3];
        root_p->left_p = &tree[1];
        root_p->right_p = &tree[5];

        /* حاول أن تبحث */
        tp = t_search(root_p, 9);
        if(tp)
                printf("found at position %d\n", tp-tree);
        else
                printf("value not found\n");
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 8]

يعمل المثال السابق بنجاح دون أخطاء، ومن الجدير بالـذكر أنـه يمكننـا اسـتخدام ذلـك في جعـل أي قيمـة مدخلة إلى الشجرة تُخزن في مكانها الصحيح باستخدام خوارزمية البحث ذاتها، أي بإضافة شيفرة برمجية إضافية

تحجز مساحة لقيمة جديدة باستخدام دالة malloc عندما لا تجد الخوارزمية القيمة، وتُضاف العقدة الجديدة في مكان مؤشر الفراغ null pointer الأول. من المعقد تحقيق ما سبق، وذلك بسبب مشكلة التعامل مع مؤشر العقدة الجذر، ونلجأ في هذه الحالة إلى مؤشر يشير إلى مؤشر آخر. اقرأ المثال التالي بانتباه، إذ أنه أحد أكثر الأمثلة تعقيدًا حتى اللحظة، وإذا استطعت فهمه فهذا يعني أنك تستطيع فهم الأغلبية الساحقة من برامج سي.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

struct tree_node{
	int data;
	struct tree_node *left_p, *right_p;
};

/*
* خوارزمية البحث ضمن شجرة
* ابحث عن القيمة v ضمن الشجرة
* أعد مؤشرًا إلى أول عقدة تحتوي على القيمة هذه
* أعد القيمة 0 إن لم تجد نتيجة
*/
struct tree_node *
t_search(struct tree_node *root, int v){

	while(root){
		printf("looking for %d, looking at %d\n",
			v, root->data);
		if(root->data == v)
			return(root);
		if(root->data > v)
			root = root->left_p;
		else
			root = root->right_p;
	}
	/* value not found, no tree left */
	return(0);
}
/*
```

```
* أدخل عقدة ضمن شجرة
* أعد 0 عند نجاح العملية أو
* أعد 1 إن كانت القيمة موجودة في الشجرة
* أعد 2 إن حصل خطأ في عملية حجز الذاكرة malloc error
*/
int
t_insert(struct tree_node **root, int v){

      while(*root){
              if((*root)->data == v)
                      return(1);
              if((*root)->data > v)
                      root = &((*root)->left_p);
              else
                      root = &((*root)->right_p);
      }
      /* value not found, no tree left */
      if((*root = (struct tree_node *)
              malloc(sizeof (struct tree_node)))
                      == 0)
              return(2);
      (*root)->data = v;
      (*root)->left_p = 0;
      (*root)->right_p = 0;
      return(0);
}

main(){
      /* construct tree by hand */
      struct tree_node *tp, *root_p = 0;
      int i;

      /* we ingore the return value of t_insert */
      t_insert(&root_p, 4);
      t_insert(&root_p, 2);
      t_insert(&root_p, 6);
```

```
        t_insert(&root_p, 1);
        t_insert(&root_p, 3);
        t_insert(&root_p, 5);
        t_insert(&root_p, 7);

        /* try the search */
        for(i = 1; i < 9; i++){
                tp = t_search(root_p, i);
                if(tp)
                        printf("%d found\n", i);
                else
                        printf("%d not found\n", i);
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 9]

تسمح لك الخوارزمية التالية بالمرور على الشجرة وزيارة جميع العُقد بالترتيب باستخدام التعاودية recursion، وهي أحد أكثر الأمثلة أناقةً، انظر إليها وحاول فهمها.

```
void
t_walk(struct tree_node *root_p){

        if(root_p == 0)
                return;
        t_walk(root_p->left_p);
        printf("%d\n", root_p->data);
        t_walk(root_p->right_p);
}
```

[مثال 10]

## 6.3 الاتحادات Unions

لن تستغرق الاتحادات Unions وقتًا طويلًا لشرحها، فهي تشابه الهياكل بفرق أنك لا تستخدم الكلمة المفتاحية `struct` بل تستخدم `union`، وتعمل الاتحادات بالطريقة ذاتها التي تعمل بها الهياكل structures بفرق أن أعضائها مُخزنون على كتلة تخزينية واحدة بعكس أعضاء الهياكل التي تُخزن على كتل تخزينية متفرقة

متعاقبة، ولكن ما الذي يفيدنا هذا الأمر؟ تدفعنا الحاجة في بعض الأحيان إلى استخدام الهياكل بهدف تخزين قيم مختلفة بأنواع مختلفة وبأوقاتٍ مختلفة مع المحافظة قدر الإمكان على مساحة التخزين وعدم هدر الموارد؛ في حين يمكننا باستخدام الاتحادات تحديد النوع الذي ندخله إليها والتأكد من استرجاع القيمة بنوعها المناسب فيما بعد. إليك مثالًا عن ذلك:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){
	union {
		float u_f;
		int u_i;
	}var;

	var.u_f = 23.5;
	printf("value is %f\n", var.u_f);
	var.u_i = 5;
	printf("value is %d\n", var.u_i);
	exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 11]

إذا أضفنا قيمةً من نوع `float` إلى الاتحاد في مثالنا السابق، ثم استعدناه على أنه قيمةٌ من نوع `int`، فسنحصل على قيمة غير معروفة، لأن النوعان يُخزنان على نحوٍ مختلف وأضف على ذلك أنهما من أطوالٍ مختلفة؛ فالقيمة من نوع `int` ستكون غالبًا تمثيل الآلة (الحاسوب) لبتات `float` منخفضة الترتيب، ولربما ستشكل جزءًا من قيمة `float` العشرية (ما بعد الفاصلة). ينص المعيار على اعتماد النتيجة في هذه الحالة على تعريف التطبيق (وليست سلوكًا غير معرفًا)، والنتيجة معرفةٌ من المعيار في حالة واحدة، ألا وهي أن يكون لبعض أعضاء الاتحاد هياكل ذات "سلسلة مبدئية مشتركة common initial sequence"، أي أن لأول عضو من كل هيكل نوع متوافق compatible type، أو من الطول ذاته في حالة حقول البتات bitfields، ويوافق اتحادنا الشروط التي ذكرناها، وبالتالي يمكننا استخدام السلسلة المبدئية المشتركة على نحوٍ تبادلي، يا لحظنا الرائع.

يعمل مصرّف لغة سي على حجز المساحة اللازمة لأكبر عضو ضمن الاتحاد لا أكثر (بعنوان مناسب إن أمكن)، أي لا يوجد هناك أي تفقد للتأكد من أن استخدام الأعضاء صائب فهذه مهمتك، وستكتشف عاجلًا أم

آجلًا إذا فشلت في تحقيق هذه المهمة. تبدأ أعضاء الاتحاد من عنوان التخزين ذاتـه (من المضـمون أنـه لا يوجـد هناك أي فراغات بين أيٍ من الأعضاء).

يُعد تضمين الاتحاد في هيكل من أكثر الطرق شيوعًا لتذكر طريقة عمل الاتحاد، وذلك باستخدام عضـو آخـر من الهيكل ذاته ليدل على نوع الشيء الموجود في الاتحاد. إليك مثالًا عمّا سيبدو ذلك:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

/* شيفرة للأنواع في الاتحاد */
#define FLOAT_TYPE      1
#define CHAR_TYPE       2
#define INT_TYPE        3

struct var_type{
      int type_in_union;
      union{
              float   un_float;
              char    un_char;
              int     un_int;
      }vt_un;
}var_type;

void
print_vt(void){

      switch(var_type.type_in_union){
              default:
                      printf("Unknown type in union\n");
                      break;
              case FLOAT_TYPE:
                      printf("%f\n", var_type.vt_un.un_float);
                      break;
              case CHAR_TYPE:
                      printf("%c\n", var_type.vt_un.un_char);
                      break;
              case INT_TYPE:
```

```
                        printf("%d\n", var_type.vt_un.un_int);
                        break;
        }
}

main(){

        var_type.type_in_union = FLOAT_TYPE;
        var_type.vt_un.un_float = 3.5;

        print_vt();

        var_type.type_in_union = CHAR_TYPE;
        var_type.vt_un.un_char = 'a';

        print_vt();
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 12]

يوضح المثال السابق أيضًا استخدام عامل النقطة للوصول إلى ما داخل الهياكل أو الاتحادات التي تحتوي على هياكل أو اتحادات أخرى بدورها، تسمح لك بعض مصرفات لغة سي الحالية بإهمال بعض الأجزاء من أسماء الكائنات المُدمجة شرط ألا يتسبب ذلك بجعل الاسم غامض، فعلى سبيل المثال يسمح استخدام الاسم الواضح `var_type.un_int` للمصرف بمعرفة ما تقصده، إلا أن هذا غير مسموح في المعيار.

لا يمكن مقارنة الهياكل بحثًا عن المساواة فيما بينها ويقع اللوم على الاتحادات، إذ أن احتمالية احتواء هيكل ما على اتحاد يجعل من مهمة المقارنة مهمةً صعبة، إذ لا يمكن للمصرّف أن يعرف ما الذي يحويه الاتحاد في الوقت الحالي مما لا يسمح له بإجراء عملية المقارنة. قد يبدو الكلام السابق صعب الفهم وغير دقيق بنسبة 100%، إذ أن معظم الهياكل لا تحتوي على اتحادات، ولكن هناك مشكلة فلسفية بخصوص القصد من كلمة "مساواة" عندما نُسقطها على الهياكل. بغض النظر، تمنح الاتحادات عذرًا مناسبًا للمعيار بتجنبه لأي مشاكل بواسطة عدم دعمه لمقارنة الهياكل.

## 6.4 حقول البتات Bitfields

دعنا نلقي نظرةً على حقول البتات بما أننا نتكلم عن موضوع هياكل البيانات، إذ يمكن تعريفها فقط بداخل هيكل أو اتحاد، وتسمح لك حقول البتات بتحديد بعض الكائنات الصغيرة بحسب طول بتات محدد، إلا أن

فائدتها محدودةٌ ولا تُستخدم إلا في حالات نادرة، ولكننا سنتطرق إلى الموضوع بغض النظر عن ذلك. يوضح لـك المثال استخدام حقول البتات:

```
struct {
        /* كل حقل بسعة 4 بتات */
        unsigned field1 :4;
        /*
         * حقل بسعة 3 بتات دون اسم
         * تسمح الحقول عديمة الاسم بالفراغات بين عناوين الذاكرة
         */
        unsigned        :3;
        /*
         * حقل بسعة بت واحد
         * تكون قيمته 0 أو -1 في نظام المتمم الثنائي
         */
        signed field2   :1;
        /* محاذاة الحقل التالي مع وحدة التخزين */
        unsigned        :0;
        unsigned field3 :6;
}full_of_fields;
```

[مثال 13]

يمكن التلاعب والوصول إلى كل حقل بصورةٍ منفردة وكأنه عضو اعتيـادي من هيكـل مـا، وتعـني الكلمتـان المفتاحيتان `signed` و`unsigned` ما هو متوقع، إلا أنه يجدر بالذكر أن حقلًا بحجم 1 بت ذا إشارة سيأخذ واحدةً من القيمتين `0` أو `-1` وذلك في آلة تعمـل بنظـام المتمم الثنـائي، ويُسـمح للتصـريحات بـأن تحتـوي المـؤهلين `const` أو `volatile`.

تُستخدم حقول البتات بشكل رئيس إما للسـماح بتحـزيم مجموعـة من البيانـات بأقـل مسـاحة، أو لتحديـد الحقول ضمن ملفات بيانات خارجية. لا تقدم لغة سي أي ضمانات بخصوص ترتيب الحقول بكلمات الآلة الـتي تعمل عليها، لذا إذا كنت تريد اسـتخدام حقـول البتـات للهـدف الثـاني، فسيصـبح برنامجـك غـير قابـل للتنقـل ومعتمدًا على المصرّف الذي يصرف البرنامج أيضًا. ينص المعيـار على أن الحقـول مُحزّمـة بمـا يـدعى "وحـدات تخزين"، التي تكون عادةً كلمات آلة. يُحدّد ترتيب التحزيم وفيما إذا كان سيتجاوز حقل البتات حاجز التخزين أم لا بحسب تعريف التطبيق، ونستخدم حقلًا بعرض صفر قبل الحقل الذي تريد تطبيق الحد عنده لإجبار الحقـل على البقاء ضمن حدود وحدة التخزين.

كن حذرًا عند استخدام حقول البتات، إذ يتطلب الأمر شيفرة وقت تشغيل run-time طويلة للتلاعب بهذه الأشياء، وقد ينتج ذلك بتوفير الكثير من المساحة (أكثر من حاجتك).

ليس لحقول البتات أي عناوين، وبالتالي لا يمكنك استخدام المؤشرات أو المصفوفات معها.

## 6.5 المعددات enums

تقع المُعدّدات enums تحت تصنيف "منجزة جزئيًا"، إذ ليست بأنواع مُعددة بصورٍ كاملة مثل لغة باسكال، ومهمتها الوحيدة هي مساعدتك في التخفيف من عدد تعليمات `#define` في برنامجك، إليك ما تبدو عليه:

```
enum e_tag{
      a, b, c, d=20, e, f, g=20, h
}var;
```

يمثل `e_tag` الوسم بصورةٍ مشابهة لما تكلمنا عنه في الهياكل والاتحادات، ويمثل `var` تعريفًا للمتغير.

الأسماء المُعلنة بداخل المُعدد ثوابت من نوع `int`، إليك قيمها:

```
a == 0
b == 1
c == 2
d == 20
e == 21
f == 22
g == 20
h == 21
```

تلاحظ أنه بغياب أي قيمة مُسندة للمتغيرات، تبدأ القيم من الصفر تصاعديًا، ويمكنك إسناد قيمة مخصصة إن أردت في البداية، إلا أن القيم التي ستتزايد بعدها ستكون من نوع عدد صحيح ثابت integral constant (كما سنرى لاحقًا)، وتُمثّل هذه القيمة بنوع `int` ومن الممكن أن تحمل عدة أسماء القيمة ذاتها.

تُستخدم المُعدّدات للحصول على إصدار ملائم للنطاق Scope بدلًا من استخدام `#define` على النحو التالي:

```
#define a 0
#define b 1
/* وهكذا دواليك */
```

إذ يتبع استخدام المعددات لقوانين نطاق لغة سي C، بينما تشمل تعليمات `#define` كامل نطاق الملف.

قد لا تهمك هذه المعلومة، ولكن المعيار ينص على أن أنواع المعددات من نوع متوافق مع أنواع الأعداد الصحيحة بحسب تعريف التطبيق، لكن ما الذي يعنيه ذلك؟ لاحظ المثال التالي:

```
enum ee{a,b,c}e_var, *ep;
```

تسلك الأسماء `a` و `b` و `c` سلوك الأعداد الصحيحة الثابتة `int` عندما تستخدمها، و `e_var` من نوع `enum ee` و `ep` مؤشر يشير إلى المعدد `ee`. تعني متطلبات التوافقية بين الأنواع (بالإضافة لمشكلات أخرى) أن هناك نوع عدد صحيح ذو عنوان يمكن إسناده إلى `ep` من غير خرق أي من متطلبات التوافقية بين الأنواع للمؤشرات.

## 6.6 المؤهلات والأنواع المشتقة

تعد المصفوفات والهياكل والاتحادات "مشتقةٌ من derived from" (أي تحتوي) أنواعٍ أخرى، ولا يمكن لأي ممّا سبق أن تُشتق من أنواع غير مكتملة incomplete types، وهذا يعني أنه من غير الممكن للهيكل أو الاتحاد أن يحتوي مثالًا من نفسه، لأن نوعه غير مكتمل حتى ينتهي التصريح عنه، وبما أن المؤشر الذي يشير إلى نوع غير مكتمل ليس بنوع غير مكتمل بذات نفسه فمن **الممكن** استخدامه باشتقاق المصفوفات والهياكل والاتحادات.

لا ينتقل التأهيل إلى النوع المُشتق إن كان أي من الأنواع التي اشتُق منها تحتوي على مؤهلات مثل `const` أو `volatile`، وهذا يعني أن الهيكل الذي يحتوي على كائن ذو مؤهل ثابت `const` لا يجعل من الهيكل بنفسه مؤهلًا بهذا المؤهل، ويمكن لأي عضو غير ثابت أن يُعدّل عليه بداخل الهيكل، وهذا ما هو متوقع، إلا أن المعيار ينص على أن أي نوع مشتق يحتوي على نوع مؤهل باستخدام `const` (أو أي نوع داخلي تعاودي) لا يمكن التعديل عليه، فالهيكل الذي يحتوي الثابت لا يمكن وضعه على الطرف الأيسر من عامل الإسناد.

## 6.7 التهيئة Initialization

حان الوقت للتكلم عن التهيئة Initialization في لغة سي بعد أن تكلمنا عن جميع أنواع البيانات المدعومة في اللغة، إذ تسمح لغة سي للمتغيرات الاعتيادية والهياكل والاتحادات والمصفوفات بأن تحمل قيمةً أوليةً عند التعريف عنها، وكان للغة سي القديمة بعض القوانين الغريبة بهذا الخصوص التي تعكس تقاعس مبرمجي مصرّفات سي عن إنجاز بعض العمل الإضافي، وأتت لغة C المعيارية لحل هذه المشكلات وأصبح من الممكن الآن تهيئة الأشياء عندما تريد وكيفما تريد.

### 6.7.1 أنواع التهيئة

هناك نوعان من التهيئة؛ تهيئة عند وقت التصريف compile time وتهيئة عند وقت التشغيل run time، ويعتمد النوع الذي ستحصل عليه على **مدة التخزين storage duration** للشيء الذي يُهيّأ.

يُصرح عن الكائنات ذات **المدة الساكنة static duration** إما خارج الدوال، أو داخلها باستخدام الكلمة المفتاحية `extern` أو `static` على أنها جزءٌ من التصريح، ويُهيّأ هذا النوع عند وقت التصريف **فقط**.

لجميع الكائنات الأخرى **مدةٌ تلقائية automatic duration**، يمكن تهيئتها **فقط** عند وقت التشغيل، إذ أن التصنيفين حصريان فيما بينهما. على الرغم من ارتباط مدة التخزين بالربط (انظر فصل الربط) إلا أنهما مختلفان ويجب عدم الخلط فيما بينهما.

يمكن استخدام التهيئة عند وقت التصريف فقط في حال استخدام التعابير الثابتة constant expressions، بينما يمكن استخدام التهيئة عند وقت التشغيل لأي تعبير كان، وقد أُلغي قيد لغة سي القديمة الذي ينص على إمكانية تهيئة المتغيرات البسيطة وحدها عند وقت التشغيل، وليس المصفوفات، أو الهياكل، أو الاتحادات.

### 6.7.2 التعابير الثابتة

هناك بعض الاستخدامات الضرورية للتعابير الثابتة، ويُعد تعريف التعبير الثابت بسيط الفهم، إذ يُقيّم **التعبير الثابت constant expression** عند وقت التصريف وليس عند وقت التشغيل، ويمكن استخدام هذا النوع من التعابير في أي مكان يسمح باستخدام قيمة ثابتة. يُشترط على التعبير الثابت ألا يحتوي على أي عامل إسناد أو زيادة أو نقصان أو استدعاء لدالة ما أو عامل الفاصلة، إلا إذا كان التعبير جزءًا من معامل `sizeof`، وقد يبدو هذا الشرط غريبًا بعض الشيء، إلا أنه بسبب أن العامل `sizeof` يُقيّم نوع التعبير وليس قيمته.

يؤكد المعيار على وجوب تقييم الأعداد الحقيقية عند وقت التصريف بدقة ونطاق مماثلين لحالة تقييمهم في وقت التشغيل. يوجد هناك طريقةٌ محدودة أكثر تدعى **تعابير الأعداد الصحيحة الثابتة integral constant expressions**، ولهذه التعابير نوع عدد صحيح وتحتوي على معاملات operands من نوع عدد صحيح ثابت أو معدّدات ثابتة enumeration constants، أو محارف ثابتة، بالإضافة إلى تعابير `sizeof` والأعداد الحقيقية الثابتة التي تكون معاملات لتحويل الأنواع casts، ويسمح لعوامل تحويل الأنواع بتحويل الأنواع الحسابية إلى أنواع صحيحة فقط. لا تُطبّق أي قيود على محتويات تعابير `sizeof` طبقًا لما سبق قوله (يُقيّم نوع التعبير وليس قيمته).

يُشابه التعبير الحسابي الثابت arithmetic constant expression التعبير الصحيح الثابت، ولكنه يسمح باستخدام الأعداد الصحيحة الثابتة، ويحدّ من استخدام تحويل الأنواع بالتحويل من نوع حسابي إلى آخر.

**العنوان الثابت constant address** هو مؤشر يشير إلى كائن ذي مدة تخزين ساكنة أو إلى مؤشر يشير إلى دالةٍ ما، ويمكنك الحصول على هذه العناوين باستخدام العامل "&" أو باستخدام التحويلات الاعتيادية للمصفوفات وأسماء الدوال إلى مؤشرات عندما تُستخدم ضمن تعبير، ويمكن استخدام كلٍ من العوامل "[]" و "." و "->" و "&" و "*" ضمن التعبير طالما لا يتضمن ذلك الاستخدام محاولة للوصول لقيمة أي كائن.

## 6.7.3 استكمال عن التهيئة

يُسمح لأنواع الثوابت المختلفة بالتواجد في العديد من الأماكن، إلا أن تعابير الأعداد الصحيحة الثابتة شديدة الأهمية على وجه الخصوص لأنها من النوع الوحيد الذي قد يُستخدم لتحديد حجم المصفوفة وقيم ما يسبق تعليمة case. تتميز أنواع الثوابت المسموح باستخدامها مثل قيمة أولية لتهيئة التعابير بأنها أقل محدودية، إذ من المسموح لك باستخدام تعابير حسابية ثابتة، أو مؤشر فراغ، أو عنوان ثابت، أو عنوان ثابت لكائن زائد أو ناقص تعبير صحيح ثابت، ويعتمد الأمر طبعًا على نوع الشيء الذي يجري تهيئته سواءٌ كان نوع تعبير ثابت محدد مناسبًا أم لا.

إليك مثالًا يحتوي على تهيئة لعدة متغيرات:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#define NMONTHS 12

int month = 0;

short month_days[] =
      {31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31};

char *mnames[] ={
      "January", "February",
      "March", "April",
      "May", "June",
      "July", "August",
      "September", "October",
      "November", "December"
};

main(){
```

```
        int day_count = month;
        for(day_count = month; day_count < NMONTHS;
                day_count++){
                printf("%d days in %s\n",
                        month_days[day_count],
                        mnames[day_count]);
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 14]

تهيئة المتغيرات الاعتيادية بسيطة، فعليك فقط إضافة `= expression` بعد اسم المتغير في التصريح، والتي تدل `expression` على التعبير الذي ستُسند قيمته إلى المتغير، وسيُهيّأ المتغير بهذه القيمة، ويعتمد استخدام مجمل التعابير أو استخدام التعابير الثابتة حصرًا على مدة التخزين، وهذا ينطبق على جميع الكائنات.

تهيئة المصفوفات أحادية البعد بسيطةٌ أيضًا، إذ عليك فقط كتابة قائمة بالقيم التي تريدها وتفصل كل قيمة بفاصلة داخل أقواس معقوصة؛ ويوضّح المثال التالي طريقة تهيئة المصفوفة، ويُحدّد حجم المصفوفة طبقًا للقيم الأولية الموجودة إن لم تحدد حجم المصفوفة على نحوٍ صريح، أما إذا حددت الحجم صراحةً، فيجب أن يكون عدد القيم الأولية التي تزودها يساوي أو أصغر من الحجم، إذ يسبب إضافة قيم أكبر من حجم المصفوفة خطئًا، بينما ستهيّئ القيم الموجودة -وإن كانت قليلة- العناصر الأولى من المصفوفة.

يمكنك بناء سلسلة نصية يدويًا بالطريقة:

```
char str[] = {'h', 'e', 'l', 'l', 'o', 0};
```

يمكن أيضًا استخدام سلسلة نصية ضمن علامتي تنصيص لتهيئة مصفوفة من المحارف:

```
char str[] = "hello";
```

سيُضمّن المحرف الفارغ في نهاية المصفوفة في حالتنا السابقة تلقائيًا إذا كانت هناك مساحةٌ كافية، أو إذا لم يُحدد حجم المصفوفة، إليك المثال التالي:

```
/* لا يوجد مكان للمحرف الفارغ */
char str[5] = "hello";

/* يوجد مكان للمحرف الفارغ */
char str[6] = "hello";
```

استخدم البرنامج في مثال 14 السلاسل النصية لأهداف مختلفة، إذ كان استخدامهم بهدف تهيئة مصفوفة من مؤشرات تشير إلى محارف، وهذا استخدام مختلفٌ تمامًا.

يمكن استخدام تعبير من نوع مناسب لتهيئة هياكل من نوع مدة تلقائية، وإلا فيجب استخدام قائمة تحتوي على تعابير ثابتة بين قوسين على النحو التالي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

struct s{
      int a;
      char b;
      char *cp;
}ex_s = {
'a', "hello"
      };

main(){
      struct s first = ex_s;
      struct s second = {
'b', "byebye"
              };

      exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 15]

يمكن تهيئة العنصر الأول فقط من الاتحاد.

يحدث تجاهلٌ للأعضاء عديمة الاسم ضمن الهيكل أو الاتحاد خلال عملية التهيئة، سواءٌ كانت حقول بتات bitfields، أو مسافات فارغة لمحاذاة عنوان التخزين، فمن غير المطلوب أخذهم بالحسبان عندما تختار القيم الأولية لأعضاء الهيكل الحقيقية (ذات الاسم).

هناك طريقتان لكتابة القيم الأولية لكائنات تحتوي على كائنات فرعية بداخلها، فيمكن كتابة قيمة أولية لكل عضو بالطريقة:

```
struct s{
```

```
        int a;
        struct ss{
                int c;
                char d;
        }e;
}x[] = {
2, 'a',
4, 'b'
        };
```

[مثال 16]

سيُسنِد ما سبق القيمة 1 إلى x[0].a و 2 إلى x[0].e.c و a إلى x[0].e.d و 3 إلى x[1].a وهكذا.

استخدام الأقواس الداخلية **أكثر أمانًا** للتعبير عن القيم التي تقصدها، إذ تسبّب قيمةٌ خاطئةٌ واحدة فوضى عارمة.

```
struct s{
        int a;
        struct ss{
                int c;
                char d;
        }e;
}x[] = {
        {1, {2, 'a'}},
        {3, {4, 'b'}}
        };
```

[مثال 17]

استخدم الأقواس دائمًا، لأن هذه الطريقة آمنة، والأمر مماثل بالنسبة للمصفوفات بكونها هياكل:

```
float y[4][3] = {
        {1, 3, 5},      /* y[0][0], y[0][1], y[0][2] */
        {2, 4, 6},      /* y[1][0], y[1][1], y[1][2] */
        {3, 5, 7}       /* y[2][0], y[2][1], y[2][2] */
};
```

[مثال 18]

تُهيّأ قيم الأسطر الثلاث الأولى كاملةً من y، ويبقى السطر الرابع y[3] غير مُهيّأ.

تُسند لجميع الكائنات ذات المدة الساكنة قيمٌ أولية ضمنية تلقائية إذا لم يوجد أي قيمة أولية لها، ويكون أثر القيمة الأولية التلقائية الضمنية مماثلًا لأثر إسناد القيمة 0 الثابتة، وهذا الأمر شائع الاستخدام، وتفترض معظم برامج لغة سي نتيجةً لذلك أن الكائنات الخارجية والكائنات الساكنة الداخلية تبدأ بالقيمة صفر.

تُضمن عملية التهيئة للكائنات ذات المدة التلقائية فقط في حالة وجود تعليمتها المركبة "في الأعلى"، إذ قد يتسبب الانتقال إلى أحد الكائنات فورًا بعدم حصول عملية التهيئة وهذا الأمر غير مستحب ويجب تجنبه. يشير المعيار بصراحة إلى أن وجود القيم الأولية في التصريح ضمن تعليمات switch لن يكون مفيدًا، لأن التصريح لا يُصنف بكونه تعليمة، ويمكن عنونة label التعليمة فقط، ونتيجةً لذلك فلا يمكن للقيم الأولية في تعليمات switch أن تُنفّذ لأن كتلة الشيفرة البرمجية التي تحتويها يجب أن تلي ذكر التصاريح.

يمكن أن يُستخدم التصريح داخل دالة ما (نطاق مرتبط بكتلة الدالة) للإشارة إلى كائن ذي ربطٍ خارجي External linkage أو ربط داخلي Internal linkage باستخدام عدّة طرق تطرقنا إليها في فصل الربط والنطاق وهناك مزيدٌ من الطرق التي سنتطرق إليها لاحقًا. إذا اتبعت الطرق السابقة (التي من المستبعد أن تتحقق من قبيل الصدفة)، فلا يمكنك تهيئة الكائن على أنه جزء من التصريح، وإليك الطريقة الوحيدة التي تستطيع تحقيق ذلك بها:

```
int x;                          /* ربط خارجي */
main(){
      extern int x = 5;         /* استخدام ممنوع */
}
```

لم يكشف مصرّفنا التهيئة الممنوعة في هذا المثال أيضًا.

## 6.8 خاتمة

تفهم الآن بالوصول لهذه النقطة ماهية الهياكل والاتحادات، إضافةً إلى أنواع حقول البتات والمعددات إلا أنهما ليسا مهمتان بقدر كبير ويمكنك الاستغناء عنهما دون أي مشاكل.

لا يمكننا أن ننصف مقدار أهمية استخدام الهياكل والمؤشرات ودالة "malloc" في البرامج المتقدمة بالقدر الكافي، فإن لم تستوعب مفهوم الهياكل واستخدامها في القوائم والأشجار وغيرها، احصل على كتاب جيد يشرحها، بل الأفضل حاول أن تلتحق بدورة تدريبية ما. يمنحك استخدام هياكل البيانات جيدًا القدرة على إنشاء برمجيات صغيرة سهلة الصيانة بسيطة وليس القدرة على كتابة الخوارزميات المعقدة -باستثناء بعض التطبيقات المتخصصة- وعادةً ما يقول مصممو البرمجيات الخبراء أن المهمة الصعبة تنتهي باختيار هيكل البيانات المناسب للتطبيق وما تبقى بعدها بسيط.

الحرية التي تمنحها لغة سي C بخصوص تشكيل هياكل البيانات دون التضحية بسرعة التنفيذ هي من أبـرز الأسباب التي ساهمت بزيادة شعبيتها بين مطوري البرمجيات الخبراء دون أي شك.

لا يجب صرف النظر عن جانب التهيئة إطلاقًا، فعلى الرغم من بساطة المفهوم إلا أن معظم اللغـات الأخـرى تجعل من تلك العملية غير ملائمة بصورةٍ مفاجئة، وذلك بإجبارك على اسـتخدام تعليمـات الإسـناد، بينمـا للغـة سي طريقة عملية وملائمة. إذا كانت طريقة تضمين القيم الأولية داخل أقواس بالكامل غير سـارة لـك فلا تقلـق، من النادر أن تستخدمها خلال ممارستك، إذ كل ما عليـك معرفتـه هـو كيفيـة إنجـاز عمليـات التهيئـة البسـيطة واختيار مرجع جيد يصف لك عمليات التهيئة الأكثر تعقيدًا، اقرأ المعيار إذا أردت الحصول على شرح كامل لهـذه النقطة إذ يقدم شرحًا واضحًا ودقيقًا حول الموضوع.

## 6.9 التمارين

1. كيف نصرح عن هيكل عديم الوسم يحتوي قيمتين من نوع `int` باسم `a` و `b`؟
2. ما السبب في كون التصريح السابق محدود الاستخدام؟
3. كيف ستبدو عملية التعريف عن هيكل بوسم `int_struc` ومتغيرين باسم `x` و `y` داخله؟
4. كيف تستطيع التصريح عن متغير ثالث لاحقًا، من نوع مماثل للمتغيرين `x` و `y` باسم `z`؟
5. بفرض أن للمؤشر `p` النوع المناسب، كيف يمكنك جعل المؤشر يشـير إلى `z` ومن ثم يسـند قيمـة `z.a` إلى صفر باستخدامه؟
6. ما الطريقتان في التصريح عن هيكل يحتوي على نوع غير مكتمل؟
7. ما الأمر غير الاعتيادي بخصوص استخدام السلسـلة نصـية `"like this"` مقـل قيمـة أوليـة لتهيئـة سلسلة محارف؟
8. ماذا لو أسندنا القيمة الأولية السابقة باستخدام `char *`؟
9. ابحث عن القائمـة مزدوجـة الارتبـاط Doubly linked list، وأعـد كتابـة مثـال القائمـة المترابطـة باستخدامها، هل عملية إدخال وحذف العناصر باستخدامها أسهل؟

# 7. المعالج المسبق Preprocessor

يتناول الفصل مرحلة المعالجة المسبقة للشيفرة المصدرية بما فيها مراحل استبدال الماكرو ومختلف موجهات المعالج المسبق الأخرى.

## 7.1 أثر المعيار

ستشعر أن المعالج المُسبق Preprocessor لا ينتمي إلى لغة سي عمومًا، إذ لا يسمح لك وجوده بالتعامل بصورةٍ متكاملة مع اللغة كما أنك لا تستطيع الاستغناء عنه في ذات الوقت، وفي الحقيقة، كان استخدام المعالج المُسبق في أيام سي الأولى اختياريًا واعتاد الناس على كتابة برامج لغة سي C بدونه، ويمكننا أن ننظر إلى كونه جزءًا من لغة سي حاليًا صدفةً إلى حدٍ ما، إذ كان يعالج بعضًا من أوجه القصور في اللغة، مثل تعريف الثوابت وتضمين التعريفات القياسية، وأصبح نتيجةً لذلك جزءًا ضمن حزمة لغة سي ككُل.

لم يكن هناك في تلك الفترة معيارٌ رسميٌ متفقٌ عليه يوحّد ما يفعله المعالج المسبق، وكانت إصدارات مختلفة منه مُطبّقة بصورةٍ مختلف على عدة أنظمة، وأصبحت عملية نقل البرنامج وتصديره إلى أنظمة أخرى مشكلةً كبيرة إذا استخدم ما يزيد عن الخصائص الأساسية للمعالج.

كانت وظيفة المعيار الأساسية هنا هي تعريف سلوك المعالج المُسبق بما يتوافق مع الممارسات الشائعة، وقد سبق حصول ذلك مع لغة سي القديمة، إلا أن المعيار اتخذ إجراءات إضافية وسط الخلاف وحدد مجموعةً من الخصائص الإضافية التي قُدمت مع إصدارات المعالج المُسبق الأكثر شعبية، وعلى الرغم من فائدة هذه الخصائص إلا أن الخلاف كان بخصوص الاتفاق على طريقة تطبيقها. لم يكترث المعيار لمشكلة القابلية مع البرامج القديمة بالنظر إلى أن هذه البرامج تستخدم طرقًا غير قابلة للنقل في المقام الأول، وسيحسِّن تواجد هذه الخصائص المتقدمة ضمن المعيار سهولة نقل برامج لغة سي مستقبلًا بصورةٍ ملحوظة.

يعدّ استخدام المعالج المسبق سهلًا إذا استُخدم لمهمته الأساسية البسيطة في جعل البرامج سـهلة القـراءة والصيانة، ولكن يُفضّل تـرك خصائصـه المتقدمـة لاسـتخدام الخـبراء. بحكم تجربتنـا، يُعـد اسـتخدام `#define` ومجموعة تعليمات التصريف الشرطي conditional compilation (أوامـر `#if`) مناسـبًا للمبتـدئين، وإذا مـا زلت مبتدئ في لغة سي، فاقرأ هذا الفصل مرةً واحدة لمعرفـة إمكانيـات المعـالج المُسـبق واسـتخدم التمـارين للتأكد من فهمك، وإلا فنحن ننصح بخـبرة لا تقـل عن سـتة أشـهر في لغـة سـي حـتى تسـتطيع فهم إمكانيـات المعالج المسبق كاملةً، لذا لن نركز على منحك مقدمة سهلة هنا بل سنركز على التفاصيل الدقيقة فورًا.

## 7.2 كيف يعمل المعالج المسبق؟

بالرغم من أن المعالج المسبق الموضح في الشكل التالي سينتهي به المطـاف غالبًـا بكونـه جـزءًا مهمًـا من مصرف لغة سي المعيارية، إلا أنه يمكننا التفكير به على أنه برنامجٌ منفصلٌ يحـول شـيفرة سـي المصـدرية الـتي تحتوي على موجهات المعالج المسبق إلى شيفرة مصدرية لا تحتوي على هذه الموجهات.


الشكل 12: المعالج المسبق في لغة سي

من المهم هنا أن نتذكر أن المعالج المسبق لا يعمل متبعًا القوانين الخاصة بشـيفرة لغـة سـي ذاتهـا، وإنمـا يعمل على أساس كل سطرٍ بسطره، وهذا يعني أن نهاية السطر حدثٌ مميز وليس كما تنظر لغـة سـي إلى نهايـة السطر بكونه مشابهًا لمحرف مسافة أو مسافة جدولة.

لا يعي المعالج المسبق قوانين لغة سي الخاصة بالنطاق Scope، إذ تأخذ موجهات المعالج المسبق (مثـل `#define`) تأثيرها فور رؤيتها ويبقى تأثيرها موجودًا حتى الوصول إلى نهاية الملف الذي يحتوي هذه الموجهات، ولا ينطبق هنا هيكل البرنامج المتعلق بالكتل البرمجية. من المحبّذ إذًا استخدام موجهات المعالج المسبق بأقـل ما أمكن، فكلما قلّ عدد الأجزاء التي لا تتبع قوانين النطاق "الاعتيادية" كلّما قلت إمكانية ارتكاب الأخطاء، وهـذا ما نقصده عندما نقول أن تكامل المعالج المسبق ولغة سي C محدودٌ فيما بينهما.

يصف المعيـار بعض القـوانين المعقـدة بخصـوص كتابـة موجهـات المعـالج المسـبق، وبـالأخص بالنسـبة للمفاتيح Tokens، ويجب عليك معرفة القوانين كلها إذا أردت فهم موجهـات المعـالج المسـبق، فـالنص الـذي يُعالج لا يعدّ سلسلةً من المحارف بل هو مُجزّأٌ إلى مفاتيح ومن ثم معلومات معالجة مُجزأة.

من الأفضل اللجوء إلى المعيار إذا أردت تعريفًا كاملًا بالعملية، إلا أننا سنتطرق إلى شرح بسيط؛ إذ سنشـرح كل جزء موجود في القائمة التالية لاحقًا.

1. اسم ملف الترويسة
   - `<` > يمكن استخدام أي محرف هنا (باستثناء) `>`.

2. مفتاح المعالج المسبق

- اسم ملف الترويسة كما ذُكر سابقًا لكن فقط في حالة ذكره ضمن `#include`
- أو معرّف identifier مثل معرف لغة C أو كلمة مفتاحية
- أو ثابت وهو أي عدد صحيح أو طبيعي ثابت
- أو سلسلة نصية وهو سلسلة نصية سي اعتيادية
- أو عامل وهو من أحد عوامل لغة سي
- أو واحد من علامات الترقيم `# ... ; = : , * { } ( ) [ ]`
- أو أي محرف غير فارغ (محرف فارغ مثل محرف المسافة) غير مذكور في اللائحة أعلاه

نقصد أي محرف (باستثناء) أي باستثناء المحرفين < أو محرف السطر الجديد.

## 7.3 الموجهات Directives

تبدأ موجّهات المعالج المسبق بالمحرف "#" دائمًا، وتُتبع بمحرف مسافة فارغة اختياريًا إلا أن هذا الاستخدام غير شائع، ويوضح الجدول التالي الموجهات المعرّفة في المعيار.

الجدول 16: موجّهات المعالج المُسبق

| الموجّه | المعنى |
|---|---|
| `# include` | تضمين ملف مصدري |
| `# define` | تعريف ماكرو |
| `# undef` | التراجع عن تعريف ماكرو |
| `# if` | تصريف شرطي |
| `# ifdef` | تصريف شرطي |
| `# ifndef` | تصريف شرطي |
| `# elif` | تصريف شرطي |
| `# else` | تصريف شرطي |
| `# endif` | تصريف شرطي |
| `# line` | التحكم بتقارير الأخطاء |
| `# error` | عرض رسالة خطأ قسرية |
| `# pragma` | تُستخدم للتحكم المعتمد على التنفيذ |
| `#` | موجّه فارغ؛ دون تأثير |

| الموجّه | المعنى |
| --- | --- |

سنشرح كل من معنى واستخدام الموجّهات بالتفصيل في الفقرات التالية. لاحظ أن المحرف # والكلمة المفتاحية التي تليه عنصرين مستقلين منفصلين، ويمكن إضافة مسافةٍ بيضاء بينهما.

### 7.3.1 الموجه الفارغ

هذا الموجّه بسيط، إذ ليس لإشارة # بمفردها على السطر أي تأثير.

### 7.3.2 موجه تعريف الماكرو define

هناك طريقتان لتعريف الماكرو، أولهما تبدو مثل تابع والأخرى على النقيض، إليك مثالًا باستخدام الطريقتين:

```
#define FMAC(a,b) a here, then b

#define NONFMAC some text here
```

يعرّف التصريحان السابقان ماكرو ونصًا بديلًا له، إذ سيستخدم ليُستبدل بالماكرو المذكور ضمن كامل البرنامج، ويمكن استخدامهما بعد التصريح عنهما على النحو التالي مع ملاحظة أثر استبدال الماكرو الموضح في التعليقات:

```
NONFMAC
/* النص هنا */

FMAC(first text, some more)
/* النص الأول، ومزيدٌ من النص */
```

يُستبدل اسم الماكرو في الحالة التي لا يبدو فيها مثل دالة بالنص البديل ببساطة، وكذلك الأمر بالنسبة لماكرو من نوع دالة، وفي حال كان النص البديل يحتوي على معرّف يطابق اسم معامل من معاملات الماكرو، يُستخدم النص الموجود وسيطًا بدلًا من المعرِّف في النص البديل. يُحدَّد نطاق الأسماء المذكورة في وسطاء الماكرو بالكتلة التي تحتوي الموجه #define.

تُهمل أي مسافات فارغة بعد أو قبل النص البديل ضمن تعريف الماكرو، وذلك لكلا الطريقتين على حد سواء.

يتبادر إلى البعض السؤال الفضولي التالي: كيف يمكنني تعريف ماكرو بسيط بحيث يكون النص البديل الخاص به ينتهي بالقوس المفتوح "("؟ الإجابة بسيطة، إذا احتوى تعريف الماكرو على مسافة أمام القوس "("،

فلن يحتسب الماكرو من نوع ماكرو دالة، بل نص بديل لماكرو بسيط فحسب، إلا أنه لا يوجد قيد مماثـل عنـدما تستخدم الماكرو الشبيه بالدالة.

يسمح المعيار للماكرو بغض النظر عن نوع أن يُعاد تعريفه في أي لحظة باستخدام موجّـه `# define` آخـر، وذلك بفرض عدم تغيير نوع الماكرو وأن تكون المفاتيح التي تشكل التعريف الأساسي وإعادة التعريـف متماثلـة بالعدد والترتيب والكتابة بما فيها استخدام المسافة الفارغة، وتُعد المسافات الفارغة في هذا السياق متسـاوية، وطبقًا لذلك فالتالي صحيح:

```
# define XXX abc/*تعليق*/def hij
# define XXX abc def hij
```

وذلك لأن التعليق شكلٌ من أشكال المسافات الفارغة، وسلسلة المفاتيح للحالتين السابقتين هي:

```
# w-s define w-s XXX w-s abc w-s def w-s hij w-s
```

إذ تعني `w-s` مفتاح مسافة بيضاء.

## ا. استبدال الماكرو

أين سيتسبب اسم الماكرو باستبدال النص بالنص البديل؟ يحـدث الاسـتبدال عمليًـا في أي مكـان يحـدث التعرف فيه على المعرّف identifier مثل مفتاح منفصل ضمن البرنامج، عـدا المعـرف المتبـوع بـالمحرف "#" الخاص بموجّه المعالج المُسبق. يمكنك كتابة التالي:

```
#define define XXX

#define YYY ZZZ
```

ومن المتوقع أن يتسبب استبدال سطر `#define` الثاني بالسطر `#xxx` بخطأ.

يُستبدل المعرف المرتبط بماكرو بسيط عندما يُرى بمفتاح الماكرو البديل، ومن ثم يُعاد مسحه rescanned (سنتكلم عن ذلك لاحقًا) للعثور على أي استبدالات أخرى.

يمكن استخدام ماكرو الدالة مثل أي دالة أخرى اعتيادية، وذلك بوضـع مسـاحات فارغـة حـول اسـم المـاكرو ولائحة الوسطاء وغيره، كما قد يحتوي على محرف سطر جديد:

```
#define FMAC(a, b) printf("%s %s\n", a, b)

FMAC ("hello",
      "sailor"
      );
```

```
/* ينتج ما سبق بالتالي */
printf("%s %s\n", "hello", "sailor")
```

يمكن أن تأخذ وسطاء الماكرو من نوع دالة أي تسلسل عشوائي للمفتاح، وتُستخدم الفاصلة "," لفصل الوسطاء عن بعضهم بعضًا، ولكن يمكن إخفاؤها بوضعها داخل أقواس "( )". توازن الأزواج المتطابقة من الأقواس داخل الوسيط بعضها بعضًا، وبالتالي ينهي القوس ")" استدعاء الماكرو إذا كان القوس "(" هو الذي بدأ باستدعائه.

```
#define CALL(a, b) a b

CALL(printf, ("%d %d %s\n",1, 24, "urgh"));
/* results in */
printf ("%d %d %s\n",1, 24, "urgh");
```

لاحظ كيف حافظنا على الأقواس حول الوسيط الثاني للدالة CALL عند الاستبدال، ولم تُزال من النص.

إذا أردت استخدام ماكرو مثل printt، لن يساعدك المعيار بهذا الخصوص عندما تختار عدد متغير من الوسطاء، فذلك غير مدعوم.

نحصل على سلوك غير معرف إذا لم يحتوي أحد الوسطاء على مفتاح معالج مسبق، والأمر مماثل إذا احتوت سلسلة مفاتيح المعالج المسبق التي تشكل الوسيط على موجّه معالج مسبق مغاير:

```
#define CALL(a, b) a b

/* كل حالة تنتج عن سلوك غير محدد */
CALL(,hello)
CALL(xyz,
#define abc def)
```

إلا أننا نعتقد برأينا أن الاستخدام الثاني الخاطئ للدالة CALL يجب أن ينتج بسلوك معرف، إذ أن أي أحد قادر على كتابة ذلك سيستفيد من انتباه المصرّف.

تتبع معالجة ماكرو الدالة الخطوات التالية:

1. جميع وسطائها معرفة.
2. إن كان أي من المفاتيح ضمن الوسيط مرشح لاستبدال بواسطة ماكرو، فسيُستبدل حتى الوصول للنقطة التي لا يمكن فيها إجراء المزيد من الاستبدالات، باستثناء الحالات المذكورة في البند الثالث

التالي. لا يوجد هناك أي خطر بخصوص امتلاك الماكرو لعدد مختلف من الوسطاء بعد إضافة فاصلة إلى قائمة الوسطاء الأساسية، إذ يُحدد الوسطاء في الخطوة السابقة **فقط**.

3. تُستبدل المعرفات التي تسمّي وسيط الماكرو في نص الاستبدال بسلسلة مفتاح مثل وسيطٍ فعلي، ويُهمل الاستبدال إذا كان المعرف مسبوقًا بإشارة "#" أو اثنتين "##" أو متبوعًا بالإشارتين "##".

## ب. التنصيص

هناك طريقةٌ خاصة لمعالجة الأماكن التي يسبق فيها وسيط الماكرو الإشارة "#" في نص الماكرو البديل، إذ تهمل أي مسافة فارغة تسبق أو تلي قائمة الوسطاء الفعلية للمفتاح، ومن ثم تُحوّل قائمة المفتاح والإشارة # إلى سلسلة نصية واحدة، وتُعامل المسافات بين المفاتيح كأنها محارف مسافة في سلسلة نصية؛ ولمنع حدوث أي نتائج مفاجئة، يُسبق أي محرف " أو \ في السلسلة النصية الجديدة بالمحرف \.

إليك المثال التالي الذي يوضح الخاصية المذكورة:

```
#define MESSAGE(x) printf("Message: %s\n", #x)

MESSAGE (Text with "quotes");
/*
* النتيجة هي
* printf("Message: %s\n", "Text with \"quotes\"");
*/
```

## ج. لصق المفتاح Token pasting

قد نجد العامل ## في أي مكان ضمن النص البديل للماكرو باستثناء نهايته أو بدايته، وتُستخدم سلسلة مفتاح وسيط الماكرو لاستبدال النص البديل إذا ورد في اسم الوسيط لماكرو دالة مسبوقًا أو متبوعًا بأحد هذه العوامل، وتُدمج المفاتيح المحيطة بالعامل ## سويًا سواءٌ كانت ضمن ماكرو دالة أو ماكرو بسيط، ونحصل على سلوك غير معرف إذا شكّل ذلك مفتاح غير صالح، ويُجرى إعادة مسح بعدها.

إليك عملية تحصل على عدة مراحل يُستخدم فيها إعادة المسح لتوضيح لصق المفتاح:

```
#define REPLACE some replacement text
#define JOIN(a, b) a ## b

JOIN(REP, LACE)
becomes, after token pasting,
REPLACE
becomes, after rescanning
```

```
some replacement text
```

### د. إعادة المسح

يُمسح النص البديل مضافًا إلى مفاتيح الملف المصدري مجددًا حالما تحصل العملية الموضحة في الفقـرة السابقة، وذلك للبحث عن أسماء ماكرو أخرى لاسـتبدالها، مـع اسـتثناء أن اسـم المـاكرو داخـل النص البـديل لا يُستبدل. من الممكن أن نضيف ماكرو متداخلة Nested macros وبالتـالي يمكن لعـدد من المـاكرو أن تُعـالج لاستبدالها في أي نقطة دفعةً واحدة، ولا يوجد في هذه الحالة أي اسم مرشح لاستبداله ضمن المستوى الداخلي لهذا التداخل، وهذا يسمح لنا بإعادة تعريف الدوال الموجودة سابقًا مثل ماكرو:

```
#define exit(x) exit((x)+1)
```

تصبح أسماء الماكرو التي لم تُستبدل مفاتيحٌ محمية من الاستبدال مسـتقبلًا، حـتى لـو وردت أي عمليـات تالية لتبديلها، وهذا يدرأ الخطر عن حدوث التعادوية recursion اللانهائيـة في المعـالج المسـبق، وتنطبـق هـذه الحماية فقـط في حالـة نتج اسـم المـاكرو عن النص البـديل، وليس النص المصـدري ضـمن البرنـامج، إليـك ما الذي نقصده:

```
#define m(x) m((x)+1)
/* هذا */
m(abc);
/* ينتج عن هذا بعد الاستبدال */
m((abc)+1);
/*
* على الرغم من أن النتيجة السابقة تبدو مثل ماكرو
* إلا أن القواعد تنص على لزوم عدم استبداله
*/

m(m(abc));
/*
* تبدأ m( الخارجية باستدعاء الماكرو,
* لكن تُستبدل الداخلية أولًا
* m((abc)+1) لتصبح بالشكل
* وتُستخدم مثل وسيط، مما يعطينا
*/
m(m((abc+1));
/*
* ويصبح بعد الاستبدال على النحو التالي
```

```
*/
m((m((abc+1))+1);
```

إذا لم يؤلمك دماغك بقراءة ما سبق، فاذهب واقرأ ما الذي يقوله المعيار عن هذا ونضمن لك أنه سيؤلمك.

## م. ملاحظات

هناك مشكلة غير واضحة تحدث عند استخدام وسطاء ماكرو الدالة.

```
/* تحذير: هناك مشكلة في هذا البرنامج */
#define SQR(x)  ( x * x )
/*
* عند ورود المعاملات الصورية في النص البديل، تُستبدل بالمعاملات الفعلية للماكرو
*/
printf("sqr of %d is %d\n", 2, SQR(2));
```

المعامل الصوري formal parameter للماكرو SQR هو x، والمعامل الفعلي actual argument هـو 2، وبالتالي سينتج النص البديل عن:

```
printf("sqr of %d is %d\n", 2, ( 2 * 2 ));
```

لاحظ استخدام الأقواس، فالمثال التالي قد يتسبب بمشكلة:

```
/* مثال سيء */
#define DOUBLE(y) y+y

printf("twice %d is %d\n", 2, DOUBLE(2));
printf("six times %d is %d\n", 2, 3*DOUBLE(2));
```

تكمن المشكلة في أن التعبير الأخير في استدعاء الدالة printf الثاني يُستبدل بالتالي:

```
3*2+2
```

وهذا ينتج عن 8 وليس 12. تنص القاعدة على أنه يجب عليك الحرص بخصوص الأقواس فهي ضرورية في حالة استخدام الماكرو لبناء تعابير. إليك مثالًا آخر:

```
SQR(3+4)

/* تصبح بالشكل التالي بعد الاستبدال */
( 3+4 * 3+4 )
```

```
/*  للأسف، ما زالت خاطئة!  */
```

لذا، يجب عليك النظر بحرص إلى الوسطاء الصورية عندما ترِد ضمن نصل بديل. إليك الأمثلة الصحيحة عن الدالتين SQR و DOUBLE:

```
#define SQR(x) ((x)*(x))
#define DOUBLE(x) ((x)+(x))
```

في جعبة الماكرو حيلةٌ صغيرة بعد لمفاجئتك، كما سيوضح لك المثال التالي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define DOUBLE(x) ((x)+(x))

main(){
      int a[20], *ip;

      ip = a;
      a[0] = 1;
      a[1] = 2;
      printf("%d\n", DOUBLE(*ip++));
      exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 1]

لمَ يتسبب المثال السابق بمشاكل؟ لأن نص ماكرو البديل يشير إلى *ip++ مرتين، مما يتسبب بزيادة ip مرتين، لا يجب للماكرو أن يُستخدم مع التعابير التي لها آثار جانبية، إلا إذا تحققت بحرص من أمانها.

بغض النظر عن هذه التحذيرات التي تخص الماكرو، إلا أنها تقدم خصائص مفيدة، وستُستخدم هذه الخصائص كثيرًا من الآن فصاعدًا.

### 7.3.3 موجه التراجع عن تعريف ماكرو undef

يُمكن أن يُهمل (يُنتسى) أي معرّف يعود لموجه #define بكتابة:

```
#undef  NAME
```

إذ لا يولد #undef خطأً إن لم يكن الاسم NAME معرفًا مسبقًا.

سنستفيد من هذا الموجه كثيرًا عمّا قريب، وسنتكلم لاحقًا عن بعض دوال المكتبات التي هي في الحقيقة ماكرو وليس دالة، وستصبح قادرًا على الوصول إلى الدالة الفعلية عن طريق التراجع عن تعريفها.

### 7.3.4 موجه تضمين ملف مصدري include

يمكن كتابة هذا الموجه بشكلين:

```
#include <filename>
#include "filename"
```

ينجم عن استخدام أحد الطريقتين قراءة ملف جديد عند نقطة ذكر الموجّه، وكأننا استبدالنا سطر الموجه بمحتويات الملف المذكور، وإذا احتوى هذا الملف على بعض التعليمات الخاطئة ستظهر لك الأخطاء مع إشارتها إلى الملف التي نجمت عنه مصحوبةً برقم السطر، وهذه مهمة مطوّر المصرف، وينص المعيار على أنه يجب للمصرف دعم ثمانية طبقات من موجّهات `# include` المتداخلة على الأقل.

يمكن الاختلاف بين استخدام `<>` و `" "` حول اسم الملف بالمكان الذي سيُبحث فيه عن الملف؛ إذ يتسبب استخدام الأقواس في البحث في عددٍ من الأماكن المعرّفة بحسب التطبيق؛ بينما يتسبب استخدام علامتي التنصيص بحثًا في المكان المرتبط بمكان ملف الشيفرة المصدرية، وستُعلمك ملاحظات تطبيقك بما هو المقصود بكلمة "المكان" والتفاصيل المرتبطة بها، إذا لم تعود عملية البحث عن الملف باستخدام علامتي التنصيص بأي نتيجة، تُعاود عملية البحث من جديد وكأنك استخدمت القوسين.

تُستخدم الأقواس عمومًا عندما تريد تحديد ملفات ترويسة لمكتبة قياسية Standard library، بينما تُستخدم علامتي التنصيص لملفات الترويسة الخاصة بك، التي تكون مخصصة غالبًا لبرنامج واحد.

لا يحدد المعيار كيفية تسمية ملف بصورةٍ صالحة، إلا أنه يحدد وجوب وجود طريقة فريدة معرفة بحسب التطبيق لترجمة اسم الملفات من الشكل `xxx.x` (يمثّل كل `x` حرفًا)، إلى أسماء ملفات الشيفرة المصدرية، ويمكن تجاهل الفرق بين الأحرف الكبيرة والصغيرة من قِبل التطبيق، ويمكن أن يختار التطبيق أيضًا ستة محارف ذات أهمية فقط بعد محرف النقطة `.`.

يمكنك أيضًا الكتابة بالشكل التالي:

```
# define NAME <stdio.h>
# include NAME
```

للحصول على نتيجة مماثلة لهذا:

```
# include <stdio.h>
```

إلا أن هذه الطريقة تعقيدٌ لا داعي له، وهي معرضةٌ لبعض الأخطاء طبقًا للقواعد المعرفة بحسب التطبيق إذ تحدد هذه القواعد كيف سيُعالج النص بين القوسين < >.

من الأبسط أن يكون النص البديل للماكرو NAME سلسلةً نصية، على سبيل المثال:

```
#define NAME "stdio.h"

#include NAME
```

لا يوجد في حالتنا السابقة أي فرصة للأخطاء الناتجة عن التصرف المعرف بحسب التطبيق، إلا أن مسارات البحث مختلفة كما وضحنا سابقًا. سلسلة المفتاح في حالتنا الأولى التي تستبدِل NAME هي على النحو التالي (بحسب القوانين التي ناقشناها سابقًا):

```
<
stdio
.
h
>
```

أما في الحالة الثانية فهي من الشكل:

```
"stdio.h"
```

الحالة الثانية سهلة الفهم، لأنه يوجد لدينا فقط سلسلة نصية وهي مفتاح تقليدي لموجّه #include، بينما الحالة الثانية معرفةٌ بحسب التطبيق، وبالتالي يعتمد تشكيل سلسلة المفاتيح لاسم ترويسة صالح على التطبيق.

أخيرًا، المحرف الأخير من الملف المُضمّن داخل موجه include يجب أن يكون سطرًا جديدًا، وإلا سنحصل على خطأ.

### 7.3.5 الأسماء مسبقة التعريف

الأسماء التالية هي أسماء مسبقة التعريف predefined names داخل المعالج المُسبق:

- الاسم __LINE__: ثابت عدد صحيح بالنظام العشري، ويشير إلى السطر الحالي ضمن ملف الشيفرة المصدرية.
- الاسم __FILE__: اسم ملف الشيفرة المصدرية الحالي، وهو سلسلة نصية.
- الاسم __DATE__: التاريخ الحالي، وهو سلسلة نصية من الشكل:

```
Apr 21 1990
```

إذ يظهر اسم الشهر كما هو معرّف في الدالة المكتبية asctime وأول خانة من التاريخ مسافة فارغة إذان كان التاريخ أقل من 10.

- الاسم __TIME__: وقت ترجمة الملف، وهو سلسلة نصية موافقة للشكل السابق باستخدام الدالة asctime، أي من الشكل "hh:mm:ss".
- الاسم __STDC__: عدد صحيح ثابت بقيمة 1، ويُستخدم لاختبار اتباع المصرّف لضوابط المعيار، إذ يمتلك هذا العدد قيمًا مختلفة لإصدارات مختلفة من المعيار.

الطريقة الشائعة في استخدام هذه الأسماء المعرفة مسبقًا هي على النحو التالي:

```
#define TEST(x) if(!(x))\
      printf("test failed, line %d file %s\n",\
             __LINE__, __FILE__)

/**/

TEST(a != 23);

/**/
```

[مثال 2]

إذا كانت نتيجة TEST في المثال السابق خطأ، فستُطبع الرسالة متضمنةً اسم الملف ورقم السطر في الرسالة. إلا أن استخدام تعليمة if في هذه الحالات قد يتسبب ببعض من اللبس، كما يوضح المثال التالي:

```
if(expression)
      TEST(expr2);
else
      statement_n;
```

إذ سترتبط تعليمة else بتعليمة if المخفية التي ستُستبدل باستخدام الماكرو TEST، وعلى الرغم من أن حدوث هذا الشيء عند الممارسة مستبعد إلا أنه سيكون خطأً لعينًا صعب الحل والتشخيص إذا حدث لك، ولتفادي ذلك، يُحبّذ استخدام الأقواس وجعل محتوى كل تعليمة تحكم بتدفق البرنامج مثل تعليمة مركّبة بغض النظر عن طولها.

لا يمكننـــا اســـتعمال أي من الأســـماء __LINE__ أو __FILE__ أو __DATE__ أو __TIME__ أو __STDC__ أو أي من الأسماء المعرفة الأخرى ضمن موجه #define أو #undef.

ينص المعيار على أن أي اسم محجوز يجب أن يبدأ بشرطةٍ سفلية underscore وحـرفٍ كبـير، أو شـرطتان، وبالتالي يمكنك استخدام أي اسم لاستخدامك الخاص، لكن انتبـه من اسـتخدام الأسـماء المحجـوزة في ملفـات الترويسة التي ضمّنتها في برنامجك.

### 7.3.6 موجه التحكم بتقارير الأخطاء line

يُستخدم هذا الموجه في ضبط القيمة التي يحملهـا كـل من __LINE__ و __FILE__، لكن مـا المُسـتفاد من ذلك؟ تولّد العديد من الأدوات في الوقت الحالي شيفرةً بلغة سي C خرجًـا لهـا، ويسـمح هـذا الموجـه لهـذه الأدوات بالتحكم برقم السطر الحالي إلا أن استخدامه محدودٌ لمبرمج لغة سي الاعتيادية.

يأتي الموجه بالشكل التالي:

```
# line number optional-string-literal newline
```

يضبط الرقم number قيمة __LINE__ وتضبط السلسلة النصية الاختيارية إن وُجدت قيمـة __FILE__. في الحقيقة، ستُوسّع سلسلة المفاتيح التي تتبـع الموجـه #line باسـتخدام مـاكرو، ومن المفـترض أن تشـكّل موجهًا صالحًا بعد التوسعة.

### 7.3.7 التصريف الشرطي

يتحكم بالتصريف الشرطي عدد من الموجهات، إذ تسمح هذه الموجهات بتصريف أجزاء معينة من البرنامج اختياريًـا أو تجاهلهـا حسـب الشـروط، وهـذه الشـروط هي: #if و #ifdef و #ifndef و #elif و #else و #endif إضافةً إلى عامل المُعالج المسبق الأحادي.

يمكننا استخدام الموجهات على النحو التالي:

```
#ifdef  NAME
/* صرّف هذا القسم إذا كان الاسم معرّفًا */
#endif
#ifndef NAME
/* صرّف هذا القسم إذا كان الاسم غير معرّفًا */
#else
/* صرّف هذا القسم إذا كان الاسم معرّفًا */
#endif
```

يُستخدم كل من `#ifdef` و `#endif` لاختبار تعريف اسم الماكرو، ويمكن استخدام `#else` طبعًا مع `#ifdef` (و `#if` أو `#elif` أيضًا)، لا يوجد التباس حول استخدام `#else`، لأن استخدام `#endif` يحدّد نطاق الموجّه مما يبعد أي مجال للشبهات. ينص المعيار على وجوب دعم ثمان طبقات من الموجهات الشرطية المتداخلة، إلا أنه من المستبعد وجود أي حدّ عمليًّا.

تُستخدم هذه الموجهات لتحديد فقرات صغيرة من برامج سي التي تعتمد على الآلة التي تعمل عليها (عندما لا يكون بالإمكان جعل كامل البرنامج ذا أداء مستقل غير مرتبط بطبيعة الآلة التي يعمل عليها)، أو لتحديد خوارزميات مختلفة تعتمد على بعض المقايضات لتنفيذها.

تأخذ بنية `#if` و `#elif` تعبيرًا ثابتًا وحيدًا ذا قيمةٍ صحيحة، وقيم المعالج المسبق هذه مماثلةٌ للقيم الاعتيادية باستثناء أنها يجب أن تخلو من عوامل تحويل الأنواع casts. تخضع سلسلة المفتاح التي تشكّل التعبير الثابت لعملية استبدال بالماكرو، عدا الأسماء المسبوقة بموجه التعريف فلا تُستبدل. بالاعتماد على ما سبق ذكره، فالتعبير `defined NAME` أو `defined ( NAME )` يُقيّمان إلى القيمة `1` إذا كان `NAME` معرّفًا، وإلى القيمة `0` إن لم يكن معرّفًا، وتُستبدل جميع المعرفات ضمن التعبير -بما فيها كلمات لغة سي المفتاحية- بالقيمة `0`، ومن ثم يُقيّم التعبير. يُقصد بالاستبدال (بما فيه استبدال الكلمات المفتاحية) أن `sizeof` لا يمكن استخدامه في هذه التعابير للحصول على القيمة التي تحصل عليها في الحالة الاعتيادية.

تُستخدم القيمة الصفر -كما هو الحال في تعليمات سي الشرطية- للدلالة على القيمة "خطأ false"، وتدل أي قيمة أخرى على القيمة "صواب true".

يجب استخدام المعالج المسبق العمليات الحسابية وفق النطاقات المحددة في ملف الترويسة `<limits.h>`، وأن تُعامل التعابير ذات قيمة العدد الصحيح مثل عدد صحيح طويل والعدد الصحيح عديم الإشارة مثل عدد صحيح طويل عديم الإشارة، بينما لا يتوجب على المحارف أن تكون مساوية إلى القيمة ذاتها عند وقت التنفيذ، لذا من الأفضل في البرامج القابلة للنقل أن نتجنب استخدامها في تعابير المعالج المُسبق. تعني القوانين السابقة عمومًا أنه بإمكاننا أن نحصل على نتائج حسابية من المعالج المسبق التي قد تكون مختلفة عن النتائج التي نحصل عليها عند وقت التنفيذ، وذلك بفرض إجراء الترجمة والتنفيذ على آلات مختلفة. إليك مثالًا:

```
#include <limits.h>

#if ULONG_MAX+1 != 0
      printf("Preprocessor: ULONG_MAX+1 != 0\n");
#endif

      if(ULONG_MAX+1 != 0)
```

```
                printf("Runtime: ULONG_MAX+1 != 0\n");
```

[مثال 3]

من الممكن أن يُجري المعالج المسبق بعض العمليات الحسابية بنطاق أكبر من النطاق المُستخدم في البيئة المُستهدفة، ويمكن في هذه الحالة ألّا يطفح تعبير المعالج المسبق `ULONG_MAX+1` ليعطي النتيجة `0`، بينما يجب أن يحدث لك في بيئة التنفيذ.

يوضح المثال التالي استخدام الثوابت المذكور آنفًا، وتعليمة "وإلّا else" الشرطية `#elif`.

```
#define NAME    100

#if     ((NAME > 50) && (defined __STDC__))
/* افعل شيئًا */
#elif   NAME > 25
/* افعل شيئًا آخر */
#elif   NAME > 10
/* افعل شيئًا آخر */
#else
/* الاحتمال الأخير */
#endif
```

يتوجب التنويه هنا على أن موجهات التصريف الشرطية لا تتبع لقوانين النطاق الخاصة بلغة سي، ولهذا فيجب استخدامها بحرص، إلا إذا أردت أن يصبح برنامجك صعب القراءة، إذ من الصعب أن تقرأ برنامج سي C مع وجود هذه الأشياء كل بضعة أسطر، وسيتملكك الغضب تجاه كاتب البرنامج إذا صادفت شيفرة مشابهة لهذه دون أي موجه `#if` واضح بالقرب منها:

```
#else
      }
#endif
```

لذلك يجب أن تعامل هذه الموجهات معاملة الصلصة الحارّة، استخدامها ضروري في بعض الأحيان، إلا أن الاستخدام الزائد لها سيعقّد الأمور.

### 7.3.8 موجه التحكم المعتمد على التنفيذ pragma

كان هذا الموجه بمثابة محاولة للجنة المعيار بإضافة طريقة للولوج للباب الخلفي، إذ يسمح هذا الموجه بتنفيذ بعض الأشياء المعرفة بحسب التطبيق. إذا لم يعرف التطبيق ما الذي سيفعله بهذا الموجه (أي لم يتعرف على وظيفته) فسيتجاهله ببساطة، إليك مثالًا عن استخدامه:

```
#pragma byte_align
```

يُستخدم الموجه السابق لإعلام التطبيق بضرورة محاذاة جميع أعضاء الهياكل بالنسبة لعنوان البايت الخاص بهم، إذ يمكن لبعض معماريات المعالجات أن تتعامل مع أعضاء الهياكل بطول الكلمة بمحاذاة عنوان البايت، ولكن مع خسارة السرعة في الوصول إليها.

يمكن أن يُفسّر هذا الأمر بحسب تفسير التطبيق له طبعًا، وإن لم يكن للتطبيق أي تفسير خاص به، فلن يأخذ الموجه أي تأثير، ولن يُعد خطأً، ومن المثير للاهتمام رؤية بعض الاستخدامات الخاصة لهذا النوع من الموجهات.

### 7.3.9 موجه عرض رسالة خطأ قسرية error

يُتبع هذا الموجه بمفتاح أو أكثر في نهاية السطر الخاص به، وتُشكّل رسالة تشخيصية من قبل المصرف تحتوي على هذه المفاتيح، ولا توجد مزيدٌ من التفاصيل عن ذلك في المعيار. يُمكن استخدام هذا الموجه لإيقاف عملية التصريف على آلة ذات عتاد صلب غير مناسب لتنفيذ البرنامج:

```
#include <limits.h>
#if CHAR_MIN > -128
#error character range smaller than required
#endif
```

سيتسبب ذلك ببعض الأخطاء المتوقعة عند مرحلة التصريف إذا نُفّذ الموجه وعُرضت الرسالة.

## 7.4 الخاتمة

على الرغم من الخصائص القوية والمرنة التي يوفرها المعالج المسبق، إلا أنها شديدة التعقيد، وهناك عددٌ قليل من الجوانب المتعلقة به ضرورية الفهم، مثل القدرة على تعريف الماكرو ودوال الماكرو، والمستخدمة بكثرة في أي برنامج سي تقريبًا عدا البرامج البسيطة، كما أن تضمين ملفات الترويسة مهمّ أيضًا طبعًا.

للتصريف الشرطي استخدامان مهمان، أولهما هو القدرة على تصريف البرنامج بوجود أو بعدم وجود تعليمات الاكتشاف عن الأخطاء Debugging ضمن البرنامج، وثانيهما هو القدرة على تحديد تعليمات معينة يعتمد تنفيذها على طبيعة التطبيق أو الآلة التي يعمل عليها البرنامج.

باستثناء ما ذكرنا سابقًا، من الممكن نسيان المزايا الأخرى الـتي ذُكـرت في الفصـل، إذ لن يتسـبب التخلي عنها بفقدان كثيرٍ من الخصائص، ولعلّ الحل الأمثل هو تواجد فرد واحد متخصّص في المعـالج المسـبق ضـمن الفريق البرمجي لتطوير الماكرو التي تفيد مشروعًا مـا بعينـه باسـتخدام بعض المزايـا الغريبـة، مثـل التنصـيص ولصق المفاتيح. سيستفيد معظم مستخدمي لغة سي C أكثر إذا وجّهوا جهـدهم بـدلًا من ذلـك نحـو تعلم بعض الأجزاء الأخرى من لغة سي، أو تقنيات التحكم بجودة البرمجيات إذا أتقنوا اللغة.

## 7.5 التمارين

تهدف هذه التمارين لفحص فهمك لأساسيات المعالج المسبق، وهي مناسبة للمبتدئين، ولن يحتاج معظم المستخدمين لفهم ما هو خارج عن هذه التمارين بخصوص المعالج المسبق.

1. كيف يمكنك استبدال المعرّف `MAXLEN` بالقيمة `100` ضمن برنامج ما؟
2. ما المسبّب للمشاكل في تعريف من الشكل `#define VALUE 100+MAXLEN`؟
3. اكتب ماكرو باسم `REM` يأخذ وسيطين من نوع عدد صحيح ويُعيد الباقي الناتج عن قسمة الوسيط الأول بالوسيط الثاني.
4. أعد كتابة المثال السابق، ولكن استخدم تحويلات الأنواع casts بحيث يمكن اسـتخدام أي نـوع حسـابي مثل وسيط، وذلك بفرض عدم وجود أي مشاكل طفحان.
5. ما الذي تعنيه الأقواس `<>` حول اسم ملف موجه `#include`؟
6. ما الذي يحصل عندما نستبدل الأقواس `<>` بعلامات التنصيص `" "`؟
7. كيـف يمكنـك اسـتخدام المعـالج المسـبق في تحديـد أجـزاء معينـة من النص يعتمـد تنفيـذها على مواصفات معينة للتطبيق؟
8. ما نوع العمليات الحسابية التي يستخدمها المعالج المسبق؟

# دورة تطوير التطبيقات
# باستخدام لغة بايثون


احترف البرمجة وتطوير التطبيقات مع أكاديمية حسوب
والتحق بسوق العمل فور انتهائك من الدورة

**التحق بالدورة الآن**

# 8. مواضيع مخصصة عن لغة سي

## 8.1 مقدمة

استعرضنا في الفصول السابقة مبادئ اللغة وغطّينا معظم الجوانب المعرّفة من المعيار تقريبًا، إلا أن هناك بعض التفاصيل المتفرقة التي لا تنطوي تحت أي عنوان محدد، ويأتي هذا الفصل لجمع هذه التفاصيل المتفرقة العويصة من لغة سي C. استعدّ للفصل القادم ولا تتردد بتدوين الملاحظات التي تعتقد أنها ستهمّك، واقرأها من وقتٍ لآخر، فالأمر الذي تجده للمرة الأولى غير مثير للاهتمام وصعب الفهم سيصبح ضروريًّا ومفيدًا لك بعد أن تكتسب الخبرة الكافية لتوظيفه. سنناقش في هذا الفصل بعض المشاكل شائعة الحدوث وبعض التفاصيل الأخرى الاستثنائية.

## 8.2 التصاريح declarations والتعاريف definitions وإمكانية الوصول accessibility

قدمنا سابقًا مفهوم النطاق scope والربط linkage، ووضحنا كيف يمكن استخدامهما سويًّا للتحكم بقابلية الوصول لأجزاء معينة ضمن البرنامج، وعمدنا إلى إعطاء وصف غامض لما يحدّد التعريف Definition لأن شرح ذلك سيتسبب بتشويشك في تلك المرحلة ولن يكون مثمرًا لرحلة تعلمك، إلا أنه علينا تحديد هذا الأمر في مرحلة من المراحل وهذا ما سنفعله في هذا الفصل، كما سنتكلم عن صنف التخزين Storage class لجعل الأمر أكثر إثارة للاهتمام.

لعلك ستجد مزج هذه المفاهيم واستخدامها سويًّا معقدًا ومربكًا، وهذا مبرّر، إلا أننا سنحاول إزالة الغموض بالتكلم عن بعض القوانين المفيدة لاحقًا، لكنك بحاجة لقراءة بعض التفاصيل قبل ذلك على الأقل مرةً واحدةً لتفهم هذه القوانين.

حتى تفهم القوانين جيدًا، عليك أن تفهم ثلاثة مفاهيم مختلفة -ولكن مرتبطة- وهي كما يدعوها المعيار:

- المدة الزمنية duration.
- النطاق scope.
- الربط linkage.

ويشرح المعيار هذه المصطلحات، كما أننا ناقشنا النطاق والربط في الفصل سابق الذكر لكننا سنعيد ذكرهما بصورةٍ مقتضبة.

### 8.2.1 محددات صنف التخزين

تندرج خمس كلمات مفتاحية تحت تصنيف محدّدات صنف التخزين storage class specifiers، أحدها هو `typedef`، وبالرغم من أنه أشبه باختصار عن شبهه بخاصيّة، إلا أننا سنناقش هذه الكلمة المفتاحية بالتفصيل لاحقًا. يتبقى لدينا الكلمات المفتاحية `auto` و `extern` و `register` و `static`.

تساعدك محددات صنف التخزين على تحديد نوع التخزين المستخدم لكائنات البيانات، وهناك صنف تخزين واحد مسموح به عند التصريح، وهذا الأمر منطقي لأن هناك طريقةً واحدةً لتخزين الأشياء. يُطبق المحدّد الافتراضي على عملية التصريح إذا أُهمل محدد صف التخزين، ويعتمد اختيار المحدد الافتراضي على نوع التصريح إذا كان خارج دالة (تصريح خارجي) أو داخل الدالة (تصريح داخلي)، إذ أن محدد التخزين الافتراضي للتصريح الخارجي هو `extern` بينما `auto` هو محدد التخزين الافتراضي للتصريح الداخلي، والاستثناء الوحيد لهذه القاعدة هو تصريح الدوال، إذ إن قيمة المحدد **الافتراضي** لها هو `extern` دائمًا.

يمكن أن يؤثر مكان التصريح ومحددات صنف التخزين المستخدمة (أو الافتراضية في حال عدم وجودها) على ربط الاسم، بالإضافة إلى تصريحات الاسم ذاته التي تلي التصريح الأولي، ولحسن الحظ فإن ذلك لا يؤثر على النطاق أو المدة الزمنية. سنستعرض المفاهيم الأسهل أوّلًا.

#### ا. المدة الزمنية

تصف المدة الزمنية لكائن ما طبيعة تخزينه، وذلك إذا كان حجز المساحة يصبح مرةً واحدةً عند تشغيل البرنامج أو أنه من طبيعة عابرة بمعنى أن مساحته تُحجز وتحرّر عند الضرورة. هناك نوعان فقط من المدة الزمنية، هما: **المدة الساكنة static duration** و**المدة التلقائية automatic duration**؛ إذ تعني المدة الساكنة أن مساحة التخزين المحجوزة للكائن دائمة؛ بينما تعني المدة التلقائية أن مساحة التخزين المحجوزة للكائن تُحرّر

وتُحجز عند الضرورة، ومن السهل معرفة أي من المدتين ستحصل عليهما، لأنك ستحصل على المدة التلقائية فقط في حالة:

- إذا كان التصريح داخل دالة،
- **و**لم يكن التصريح يحتوي على أي من الكلمتين المفتاحيتين `static` أو `extern`.
- **و**ليس التصريح تصريحًا لدالة.

ستجد أن معاملات الدالة الصورية تطابق هذه القوانين الثلاث دائمًا، وبذلك فهي ذات مدة تلقائية. مع أن تواجد الكلمة المفتاحية `static` ضمن التصريح يعني أن الكائن ذو مدة ساكنة دون أي شك، إلا أنها ليست الطريقة الوحيدة لإنجاز ذلك، ويسبب هذا بعض اللبس لدى الكثير، وعلينا تقبُّل هذا الأمر.

تُمنح كائنات البيانات المصرحة داخل الدوال محدد صنف التخزين الافتراضي `auto`، إلا إذا استُخدم محدد آخر لصنف التخزين. لن تحتاج الوصول إلى هذه الكائنات من خارج الدالة في معظم الحالات، لذا ستريد أن تكون **عديمة الربط no linkage**، وفي هذه الحالة نستخدم الحالة الافتراضية `auto` أو محدّد صنف التخزين `register storage`، إذ سيعطينا هذا كائنًا عديم الربط وذا مدة تلقائية. لا يمكن تطبيق الكلمة المفتاحية `auto` أو `register` ضمن تصريح يقع خارج دالةٍ ما.

يُعد صنف التخزين `register` مثيرًا للاهتمام، فعلى الرغم من قلة استخدامه هذه الأيام إلا أنه يقترح على المصرف تخزين الكائن في مسجل register واحد أو أكثر في الذاكرة والذي ينعكس بالإيجاب على سرعة التنفيذ. لا ينفذ المصرف الأوامر بناءً على هذا الأمر إلا أن متغيرات `register` لا تمتلك أي عنوان ( يُمنع استخدام العامل `&` معها) لتسهيل الأمر وذلك لأن بعض الحواسيب لا تدعم المسجلات ذات العناوين. قد يتسبب التصريح عن عدة كائنات `register` بتأثير عكسي فيبطئ البرنامج بدلًا من تسريعه، وذلك لأن المصرف سوف يضطر إلى حجز مزيدٍ من المسجلات عند الدخول إلى (تنفيذ) الدالة وهي عملية بطيئة، أو لن يكون هناك العدد الكافي من المسجلات المتبقية لتُستخدم في العمليات الحسابية الوسيطة.

يعود الاختيار في استخدام المسجلات إلى الآلة المُستخدمة، ويجب استخدام هذه الطريقة فقط عندما توضح الحسابات أن هذا النوع ضروري لتسريع تنفيذ دالة ما بعينها، وعندها يتوجب عليك فحص البرنامج وتجربته. يجب ألّا تصرح عن متغيرات المسجلات أبدًا خلال عملية تطوير البرنامج برأينا، بل تأكد من أن البرنامج يعمل ومن ثم أجرِ بعض القياسات، وعندها قرّر استخدام هذا النوع من المتغيرات حسب النتائج فيما إذا كان يتسبب استخدامها بتحسن ملحوظ في الأداء، ولكن عليك تكرار العملية ذاتها إذا اتبعت هذه الطريقة في كل نوع من المعالجات المسبقة التي تنقل برنامجك إليها، إذ يحتوي كل نوع من المعالجات المسبقة على خصائص مختلفة.

ملاحظة أخيرة بخصوص متغيرات `register`: يُعد محدد صنف التخزين هذا المحدد الوحيد الممكن استخدامه ضمن نموذج دالة أولي function prototype أو تعريف دالة، ويجري تجاهل محدد صنف التخزين

في حالة نموذج الدالة الأولي، بينما يشير تعريف الدالة على أن المعامل الفعلي مخزّن في مسجّل إذا كـان الأمـر ممكنًا. إليك مثالًا يوضح كيفية يمكن توظيف ذلك:

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

void func(register int arg1, double arg2);

main(){
	func(5, 2);
	exit(EXIT_SUCCESS);
}

/*
توضح الدالة أنه يمكن التصريح عن المعاملات الصورية باستخدام صنف تخزين مسجّل
*/
void func(register int arg1, double arg2){

	/*
هذا الاستخدام لأهداف توضيحية، فلا أحد يكتب ذلك في هذا السياق
لا يمكن أخذ عنوان arg1 حتى لو أردت ذلك
	 */
	double *fp = &arg2;

	while(arg1){
		printf("res = %f\n", arg1 * (*fp));
		arg1--;
	}
}
```

[مثال 1]

تعتمد إذًا المدة الزمنية لكائن على محـدد صـنف التخـزين المسـتخدَم -بغض النظـر عن كـون الكـائن كـائن بيانات أو دالة-، كما تعتمد على مكان التصريح (في كتلة داخلية أو على كامل نطاق الملف؟). يعتمد الربط أيضًـا على محدد صنف التخزين، إضافةً إلى نوع الكائن ونطاق التصريح عنه. يوضح الجدول 17 والجـدول 18 التـاليين مدة التخزين الناتجة والربط لكل من الحالات الممكنة عند استخدام محددات صنف التخـزين الممكنـة، وموضـع

التصريح. يُعد ربط الكائنات باستخدام المدة الساكنة أكثر تعقيدًا، لذا ننصحك باستخدام هذه الجـداول لتوجيهـك في الحالات البسيطة وانتظر قليلًا حتى نصل إلى الجزء الذي نتكلم فيه عن التعريفات.

الجدول 17: التصريحات الخارجية (خارج الدوال)

| محدد صنف التخزين | دالة أو كائن بيانات | الربط | المدة الزمنية |
|---|---|---|---|
| `static` | أحدهما | داخلي | ساكنة |
| `extern` | أحدهما | خارجي غالبًا | ساكنة |
| لا يوجد | دالة | خارجي غالبًا | ساكنة |
| لا يوجد | كائن بيانات | خارجي | ساكنة |

أهملنا في الجدول السابق المحددين `register` و `auto` لأنه من غير المسـموح اسـتخدامهما على نطـاق التصريحات الخارجية (على نطاق الملف).

الجدول 18: التصريحات الداخلية

| محدد صنف التخزين | دالة أو كائن بيانات | الربط | المدة الزمنية |
|---|---|---|---|
| `register` | كائن بيانات فقط | لا يوجد | تلقائية |
| `auto` | كائن بيانات فقط | لا يوجد | تلقائية |
| `static` | كائن بيانات فقط | لا يوجد | ساكنة |
| `extern` | كلاهما | خارجي غالبًا | ساكنة |
| لا يوجد none | كائن بيانات | لا يوجد | تلقائية |
| لا يوجد none | دالة | خارجي غالبًا | ساكنة |

تحتفظ المتغيرات الساكنة `static` الداخلية بقيمها بين استدعاءات الدوال التي تحتويها، وهذا شيءٌ مفيدٌ جدًا في بعض الحالات (راجع الفصل الرابع).

### 8.2.2 النطاق Scope

علينا الآن إلقاء نظرة على نطاق أسماء الكائنات مجددًا، والذي يعرف أين ومتى يكون لاسمٍ ما معنًى محـدد. هناك أنواعٌ مختلفة للنطاق هي:

- نطاق دالة.
- نطاق ملف.
- نطاق كتلة.
- نطاق نموذج دالة أولي.

النطاق الأسهل هو نطاق الدالة، إذ ينطبق ذلك على عناوين labels الأسماء المرئية ضمن دالة ما صُرّح عنها بداخلها، ولا يمكن لعنوانين داخل نفس الدالة أن يمتلكان الاسم ذاته، لكن يمكن للعنوان استخدام الاسم ذاته إذا كان ضمن أي دالةٍ أخرى بحكم أن النطاق هو نطاق دالة. **ليست** العناوين كائنات فهي لا تمتلك أي مساحة تخزينية ولا يعني مفهوم الربط والمدة الزمنية أي معنًى في عالمها.

يمتلك أي اسم مُصرّح عنه خارج الدالة نطاق ملف، وهذا يعني أن الاسم قابلٌ للاستخدام ضمن أي نقطة من البرنامج من لحظة التصريح عنه إلى نهاية ملف الشيفرة المصدرية الذي يحتوي ذلك التصريح، ومن الممكن طبعًا لهذه الأسماء أن تصبح مخفية مؤقتًا باستخدام تصريحات ضمن تعليمات مركبة، لأنه كما نعلم، ينبغي على تعريفات الدالة أن تكون خارج الدوال الأخرى حتى يكون اسم الدالة في التعريف ذو نطاق ملف.

يمتلك الاسم المُصرّح عنه بداخل تعليمة مركبة أو معامل دالة صوري نطاق كتلة ومن الممكن استخدامه ضمن الكتلة حتى الوصول للقوس `}` الذي يغلِق التعليمة المركبة، ويُخفي أي تصريح لاسم ضمن تعليمة مركبة أي تصريح خارجي آخر للاسم ذاته حتى نهاية التعليمة المركبة.

يعدّ نطاق النموذج الأولي للدالة مثالًا مميزًا وبسيطًا من النطاقات، إذ يمتد تصريح الاسم حتى نهاية النموذج الأولي للدالة فقط، وهذا يعني أن ما يلي خاطئ (باستخدام نفس الاسم مرتين):

```
void func(int i, int i);
```

وهذا هو الاستعمال الصحيح:

```
void func(int i, int j);
```

وتختفي الأسماء المُصرّح عنها بداخل الأقواس خارجها. نطاق الاسم مستقل تمامًا عن أي محدد صنف تخزين مُستخدم في التصريح.

### 8.2.3 الربط

سنذكّر بمصطلح الربط Linkage بصورةٍ مقتضبة هنا أيضًا، إذ يُستخدم الربط لتحديد ما الذي يجعل الاسم المُعلن عنه في نطاقات مختلفة يشير إلى الشيء ذاته، إذ يمتلك الكائن اسمًا واحدًا فقط، ولكننا في بعض الحالات نحتاج للإشارة إلى هذا الكائن على مستوى نطاقات مختلفة، ويُعدّ استدعاء الدالة `printf` من أماكن متعددة ضمن البرنامج أبسط الأمثلة، حتى لو كانت هذه الأماكن المذكورة لا تنتمي إلى ملف الشيفرة المصدرية ذاته.

يحذّر المعيار أنه يجب على التصاريح التي تشير إلى الشيء ذاته أن تكون من نوع متوافق، وإلا فسنحصل على برنامج ذي سلوك غير محدد، وسنتكلم عن الأنواع المتوافقة بالتفصيل لاحقًا، وسنكتفي حاليًا بقول أن التصاريح يجب أن تكون متطابقةً باستثناء استخدام محددات صنف محدد التخزين، وتحقيق هذا من مسؤوليات المبرمج، إلا أن هناك بعض الأدوات لتساعدك في تحقيق هذا غالبًا.

هناك ثلاثة أنواع مختلفة من الربط:

- الربط الخارجي.
- الربط الداخلي.
- عديم الربط.

إذا كان اسم الكائن ذو ربط خارجي فهذا يعني أن جميع النسخ instances الموجودة في البرنامج -الـذي قـد يكون مؤلفًا من عدد من ملفات الشيفرة المصدرية والمكتبـات- تعـود إلى الكـائن ذاتـه، ويعـني الربـط الـداخلي لكائن ما أن نُسخ هذا الكائن الموجودة في ملف الشيفرة المصـدرية نفسـه فقـط تُشـير إلى الشـيء ذاتـه، بينمـا يعني الكائن عديم الربط أن كل كائن ذي اسم مماثل له هو كائنٌ منفصلٌ عنه.

### 8.2.4 الربط والتعاريف

يجب لكل كائن بيانات أو دالة مُسـتخدمة في برنـامج (عـدا معـاملات عامـل `sizeof`) أن تمتلـك **تعريفًـا واحدًا فقط**، ومع أننا لم نتطرق إلى هذا بعد، إلا أن هذا الأمر مهمٌ جدًا؛ ويعود السبب بعدم تطرقنا لهذا الأمر إلى استخدام جميع أمثلتنا كائنات بيانات ذات مدة تلقائية فقط وكون تصاريحها تعاريفًا، أو دوالًا كنا قد عرّفناهـا من خلال كتابة متنها.

تعني القاعدة السابقة أنه يجب للكائنات ذات الربط الخارجي أن تحتوي على تعريفٍ واحد فقط ضمن كامـل البرنامج، ويجب للكائنات ذات الربط الداخلي (المقيدة داخل ملف شيفرة مصدرية واحـد) أن يُعـرّف عنهـا لمـرة واحدة فقط ضمن الملف المُصرّح فيه عنها، كما أن للكائنات عديمة الربـط تعريـفٌ واحـد فقـط، إذ أن التصـريح عنها هو تعريفٌ أيضًا.

لجمع النقاط الآنف ذكرها، نسأل الأسئلة التالية:

1. كيف أستطيع الحصول على نوع الربط الذي أريده؟
2. ما الشيء الذي يحدد التعريف؟

علينا أن ننظر إلى الربط أولًا ومن ثم التعريف.

إذًا، كيف نحصل على التعريف المناسب لاسمٍ ما؟ القوانين معقدة بعض الشيء.

1. ينتج التصريح خارج دالة (نطاق ملف) تحتوي على محدد صنف تخزين ساكن ربطًا داخليًـا لهـذا الاسـم، ويحدد المعيار وجوب وجود تصاريح الدالة الـتي تحتـوي على الكلمـة المفتاحيـة `static` على مسـتوى الملف وخارج أي كتلة برمجية.
2. إذا احتوى التصريح على محدد صنف التخزين `extern`، أو إذا كان تصريح الدالـة لا يحتـوي على محـدد صنف التخزين، أو كلا الحالتين، فهذا يعني:

1. إذا وجِد تصريح للمعرف ذاته بنطاق ملف، فهذا يعني أن الربط الناتج مماثلٌ لهذا التصـريح السـابق المرئي.
2. وإلا، فالنتيجة هي ربط خارجي.

3. إذا لم يكن التصـريح ذو نطـاق الملـف تصـريحًا لدالـة أو لم يحتـوي على محـدد صـنف تخـزين واضـح، فالنتيجة هي ربط خارجي.
4. أي شكل آخر من التصاريح سيكون عديم الربط.
5. إذا وجِد معرف ذو ربط داخلي وخارجي في ذات الوقت ضمن ملف شيفرة مصـدرية مـا، فالنتيجـة غـير محددة.

استُخدمت القوانين السابقة لكتابة جـدول الربـط السـابق (جـدول 2) دون تطـبيق كامـل للقاعـدة 2، وهـذا السبب في استخدامنا الكلمة "خارجي غالبًا"، وتسمح لك القاعدة 2 بتحديد الربط بدقة في هذه الحالات.

ما الذي يجعل التصريح تعريفًا؟

- التصاريح التي تعطينا كائنات عديمة الربط هي تعاريف أيضًا.
- التصاريح التي تتضمن قيمةً أولية هي تعاريف دائمًا، وهذا يتضـمن تهيئـة دالـة مـا بكتابـة متن الدالـة، ويمكن للتصاريح ذات نطاق الكتلة أن تحتوي على قيم أولية فقط في حال كانت عديمة الربط.
- وإلا، فالتصريح عن الاسم على نطاق ملف بـدون محـدد صـنف التخـزين أو مـع محـدد صـنف التخـزين `static` هو **تعريف مبدئي tentative definition**، وإذا احتوى ملف شيفرة مصدرية على تعريـف مبدئي واحد أو أكثر لكـائن مـا وكـان الملـف لا يحتـوي على أي تعـاريف فعليـة، يصـبح للكـائن تعريـفٌ افتراضيٌ وهو مشابه لحالة إسناد القيمة الأولية "0" إليه (تُهيّأ عناصر المصفوفات والهياكل جميعها إلى قيمة "0")، ولا يوجد للدوال تعريفٌ مبدئي.

طبقًا لما سبق، لا تتسبب التصريحات التي تحتوي على محدد صنف تخـزين خـارجي extern بتعريـف، إلا إذا ضمّنت قيمةً أوليةً للتصريح.

### 8.2.5 الاستخدام العملي لكل من الربط والتعاريف

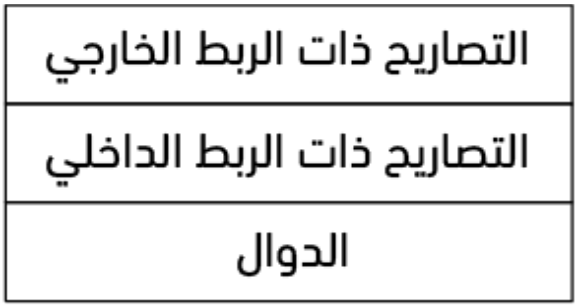
تبدو القوانين التي تحدد كل من الربط والتعريف المرتبطة بالتصاريح معقدةً بعض الشـيء، إلا أن اسـتخدام هذه القوانين عمليًّا ليس بالأمر الصعب، دعونا نناقش بعض الحالات الاعتيادية.

أنواع إمكانية أو قابلية الوصول الثلاث التي ستريدها لكائنات البيانات أو الدوال هي:

- على كامل نطاق البرنامج.

- مقيّد بنطاق ملف شيفرة مصدرية واحد.
- مقيّد بنطاق دالة واحدة، أو تعليمة مركبة واحدة.

ستحتاج إلى ربط خارجي وربط داخلي وربط عديم لكل من الحالات الثلاث السابقة بالترتيب، ومن الممارسات المُحبذة بالنسبة للحالة الأولى والثانية هي التصريح عن الأسماء ضمن ملف الشيفرة المصدرية الموافق لها قبل أن تعرّف أي دالة، ويوضح الشكل 12 هيكل ملف الشيفرة المصدرية بهذا الخصوص.




الشكل 13: هيكل ملف الشيفرة المصدرية

يمكن أن تُسبق تصاريح الربط الخارجية بالكلمة المفتاحية `extern` وتصاريح الربط الداخلية بالكلمة المفتاحية `static`. إليك مثالًا عن ذلك:

```c
/* مثال عن هيكل ملف الشيفرة المصدرية */
#include <stdio.h>

/*
 يمكن الوصول للأشياء ذات الربط الخارجي عبر البرنامج
ما يلي هو تصاريح وليس تعاريف، لذا نفترض أن التعاريف في مكان ما آخر
*/

extern int important_variable;
extern int library_func(double, int);

/*
تعاريف ذات ربط خارجي
*/
extern int ext_int_def = 0;      /* تعريف صريح */
int tent_ext_int_def;            /* تعريف مبدئي */

/*
```

```
* يمكن الوصول للأشياء ذات الربط الداخلي فقط من داخل الملف
* يعني استخدام المحدد الساكن أن التعريفات هي تعريفات مبدئية
*/

static int less_important_variable;
static struct{
        int member_1;
        int member_2;
}local_struct;

/*
 ذات ربط داخلي لكنها ليست بتعريف مبدئي لأنها دالة
*/
static void lf(void);

/*
* التعريف مع الربط الداخلي
*/
static float int_link_f_def = 5.3;

/*
وأخيرًا إليك تعاريف الدوال ضمن هذا الملف
*/

/*
للدالة التالية ربط خارجي ويمكن استدعاؤها من أي مكان ضمن البرنامج
*/
void f1(int a){}

/*
يمكن استخدام الدالتين التاليتين باسمهما ضمن هذا الملف
*/
static int local_function(int a1, int a2){
        return(a1 * a2);
}
```

```
static void lf(void){
        /*
  متغير ساكن عديم الربط، لذا يمكن استخدامه فقط ضمن هذه الدالة،
وهو تعريف بحكم أنه عديم الربط
         */
        static int count;
        /*
  متغير تلقائي عديم الربط ولكنه ذو مُهيّأ بقيمة أولية
         */
        int i = 1;

        printf("lf called for time no %d\n", ++count);
}
/*
ضُمّنت التعاريف الفعلية لجميع التعاريف المبدئية المتبقية في نهاية الملف
*/
```

[مثال 2]

نقترح عليك قراءة الفقرات السابقة مجددًا لملاحظة القوانين التي طُبّقت في المثال 2.

## 8.3 معرف النوع typedef

يسود الاعتقاد بأن معرّف النوع هو صنف تخزين، إلا أن هذا الاعتقاد خاطئ، إذ يسمح لك هذا المعرّف باختيار مرادفات لأنواع أخرى، والتي من الممكن أن يُصرّح عنها بطريقة مختلفة، ويصبح الاسم الجديد المرادف مكافئاً للنوع الذي تريده، كما سيوضح المثال التالي:

```
typedef int aaa, bbb, ccc;
typedef int ar[15], arr[9][6];
typedef char c, *cp, carr[100];

/* صرّح عن بعض الكائنات */

/* جميع الأعداد الصحيحة */
aaa     int1;
bbb     int2;
ccc     int3;
```

```
ar      yyy;    /* مصفوفة من 15 عدد صحيح */
arr     xxx;    /* مصفوفة من 6×9 عدد صحيح */

c       ch;     /* محرف */
cp      pnt;    /* مؤشر يشير لمحرف */
carr    chry;   /* مصفوفة من 100 محرف */
```

تنص القاعدة العامة في استخدام معرف النوع على كتابة التصريح وكأنك تصرح عن متغيرات من الأنواع التي تريدها، فعندما يتضمن التصريح الاسم مع نوعه المحدد، فإن إسباق ذلك بمعرّف النوع يعني أنك تصرح عن اسم جديد لنوع ما بدلًا من التصريح عن متغيرات، ويمكن بعدها استخدام أسماء النوع الجديد مثل سابقة prefix لتصريح متغير من النوع الجديد.

لا يُعد استخدام الكلمة المفتاحية `typedef` شائعًا في معظم البرامج، ويُستخدم غالبًا في ملفات الترويسة ومن النادر أن تجده في الممارسة اليومية الاعتيادية.

تُعرَّف الأنواع الجديدة للمتغيرات الأساسية في البرامج التي تتطلب قابلية نقل كبيرة غالبًا، وتُستخدم تعليمات `typedef` المناسبة لكتابة البرنامج بصورة مُخصصة للآلة الهدف، إلا أن استخدامها الزائد قد يتسبب ببعض اللبس لمبرمجي اللغة إذا كانوا يستخدمون بيئة مغايرة، يوضح المثال التالي ما نقصده:

```
 // 'mytype.h' ملف
typedef short   SMALLINT        /* 30000******* النطاق */
typedef int     BIGINT          // 2E9 ******* النطاق

/* البرنامج*/
#include "mytype.h"

SMALLINT        i;
BIGINT          loop_count;
```

لا يتسع نطاق العدد الصحيح في `BIGINT` في بعض الآلات، ونتيجةً لذلك يجب إعادة تعريف النوع ليصبح `long`.

لإعادة استخدام الاسم المُصرّح مثل تعريف نوع `typedef`، يجب أن يحتوي تصريحه محدد نوع واحد على الأقل، وهذا من شأنه أن يبعد أي لبس:

```
typedef int new_thing;
func(new_thing x){
        float new_thing;
```

```
        new_thing = x;
}
```

نحذّر هنا أن الكلمة المفتاحية typedef يمكن استخدامها فقط للتصريح عن نوع القيمة المُعادة من دالة وليس نوع الدالة الكامل، ونقصد بنوع الدالة الكامل معلومات حول معاملات الدالة ونوع القيمة المُعادة أيضًا.

```
/*
صرّح عن func باستخدام typedef لتكون من النوع الذي يأخذ وسيطين من نوع عدد صحيح ويعيد قيمة عدد صحيح
*/
typedef int func(int, int);

/* خطأ */
func func_name{ /*....*/ }

// func مثال صالح، يعيد مؤشر إلى النوع
func *func_name(){ /*....*/ }

/*
مثال صالح إذا كانت الدوال تعيد دوالًا، لكن هذا غير ممكن في لغة سي
*/
func func_name(){ /*....*/ }
```

لا يمكن استخدام معرّف مثل معامل صوري في دالة إذا كان ذلك المعرّف مرتبطًا بمعرف نوع typedef معين ضمن النطاق، إذ سيسبب التصريح من الشكل التالي بمشكلة:

```
typedef int i1_t, i2_t, i3_t, i4_t;

int f(i1_t, i2_t, i3_t, i4_t) //X هنا النقطة
```

يصل المصرف إلى النقطة "X" عند قراءة تصريح الدالة، ولا يعرف فيما إذا كان يقرأ تصريحًا عن دالة، وهذه الحالة مشابهة إلى:

```
int f(int, int, int, int) /* نموذج أولي */
```

أو

```
int f(a, b, c, d) /* ليس نموذجًا أوليًا */
```

يمكن حل المشكلة السابقة (في أسوأ الحالات) بالنظر إلى ما يتبع النقطة "X"؛ فإذا كانت فاصلة منقوطة فهذا تصريح؛ أما إذا كان { فهذا تعريف. تعني القاعدة التي تمنع أسماء تعريف النوع من أن تكون لمعامل صوري أن المصرف يمكنه دائمًا أن يخبر فيما إذا كان يعالج تصريحًا أو تعريفًا بالنظر إلى المعرف الأول الذي يتبع اسم الدالة.

استخدام معرف النوع مفيد عندما تريد التصريح عن أشياء ذات صياغة معقدة، مثل "مصفوفة مؤلفة من عشرة مؤشرات تشير إلى مصفوفة تتألف من خمسة أعداد صحيحة"، وهي صيغة معقدة للكتابة حتى لأمهر المبرمجين. يمكنك كتابتها لمرة واحدة فقط باستخدام معرف النوع أو تجزئتها إلى قطع مقبولة التعقيد:

```
typedef int (*a10ptoa5i[10])[5];
/* أو */
typedef int a5i[5];
typedef a5i *atenptoa5i[10];
```

جرّبها بنفسك!

## 8.4 المؤهلان const و volatile

تُعد المؤهلات qualifiers من الأشياء الجديدة التي أتت مع لغة سي C المعيارية، على الرغم من أن فكرة const كانت من لغة C++ أصلًا. دعنا أولًا نوضح لك شيئًا، وهو أن مفهومي const و volatile مستقلان كليًا عن بعضهما بعضًا، إذ يسود الاعتقاد الخاطئ أن const تؤدي عكس غرض volatile، إلا أن المفهومين غير مرتبطين ويجب أن تبقي ذلك ببالك.

بما أن تصاريح const هي الأبسط فسنبدأ بها، إلا أننا سنستعرض الحالات التي تُستخدم فيها كلا النوعين من المؤهلات. إليك لائحةً بالكلمات المفتاحية المرتبطة بهذا الشأن:

```
char      long      float     volatile
short     signed    double    void
int       unsigned  const
```

يمثل كل من const و volatile في اللائحة السابقة أنواع مؤهلات، والكلمات المفتاحية المتبقية هي محددات نوع type specifiers، ويُسمح باستخدام عدة محددات أنواع بالشكل التالي:

```
char, signed char, unsigned char
int, signed int, unsigned int
short int, signed short int, unsigned short int
long int, signed long int, unsigned long int
float
```

```
double
long double
```

هناك بعض النقاط التي يجب أن ننوه إليها، وهي أن جميع التصاريح الـتي تحتـوي على int سـتكون ذات إشارة signed افتراضيًا، وبـذلك فالكلمـة المفتاحيـة signed هي تكـرار لا لـزوم لـه في هـذا السـياق، ويمكن التخلص من int إذا وُجد أي محدد نوع أو مؤهل لأن int هو النوع الافتراضي.

يمكن تطـبيق الكلمــتين المفتــاحيتين const و volatile لأي تصــريح، متضــمّنًا تصــريح الهياكــل والاتحادات وأنواع المعدّدات أو أسماء typedef، ونقول عن تصريح يحتـوي هـذه الكلمـتين المفتـاحيتين بأنـه مؤهّل، وهذا السبب في تسمية const و volatile بالمؤهّلات عوضًا عن تسميتهما بمحددات النـوع، إليـك بعض الأمثلة:

```
volatile i;
volatile int j;
const long q;
const volatile unsigned long int rt_clk;
struct{
        const long int li;
        signed char sc;
}volatile vs;
```

لا تشعر بالضيق من الأمثلة السابقة، فبعضها معقّد وسنشرح معناها لاحقًا، لكن تذكر أنه من الممكن زيادة التعقيد باستخدام محددات صنف التخزين أيضًا، ويوضح المثال التالي استخدامًا واقعيًا ضمن بعض أنوية نظـام تشغيل في الوقت الحقيقي:

```
extern const volatile unsigned long int rt_clk;
```

### 8.4.1 المؤهل const

لنلقي نظرةً على كيفية استخدام المؤهل const، والأمر بسيطٌ جدًا، إذ تعني const أن الشـيء ليس قـابلًا للتعديل، فإذا صُرّح عن كائن بيانات باستخدام الكلمة المفتاحية const مثل جزءٍ من توصيف نوعه فهـذا يعـني أنه من غير الممكن إسناد أي قيمة إليه خلال تشغيل البرنامج، ويحتوي التصريح عن الكائن غالبًا على قيمة أوليـة (وإلا فمتى سيحصل على قيمة إن لم يكن الإسـناد إليـه مسـموحًا؟) إلا أنهـا ليسـت الحالـة دائمًـا؛ فعلى سـبيل المثال، إذا أردت الوصول إلى منفذ port للعتاد الصلب ضمن عنوان ذاكرة محـدد واحتجت للقـراءة منـه فقـط، فسيُصرّح عنه أنه مؤهل const لكنه لن يُهيأ.

يُعدّ أخذُ عنوان كائن بيانات ذي نـوع ليس const ووضـعه في مؤشـر يشـير إلى إصـدار مؤهـل باسـتخدام const للنوع نفسه طريقةً آمنةً ومسموحة، إذ سيمكنك ذلك من استخدام المؤشر للنظر إلى الكائن دون إمكانية التعديل عليه، بينما يُعدّ وضع عنوان نوع ثابت إلى مؤشر يشير إلى النوع غير المؤهل طريقةً خطرةً وبالتـالي فهي محظورة، إلا أنه يمكنك تجاوز ذلك باستخدام تحويل الأنواع cast. إليك مثالًا عن ذلك:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){
        int i;
        const int ci = 123;

        /* تصريح عن مؤشر يشير إلى ثابت */
        const int *cpi;

        /* مؤشر اعتيادي يشير إلى كائن غير ثابت */
        int *ncpi;

        cpi = &ci;
        ncpi = &i;

        /* التعليمة التالية صالحة */
        cpi = ncpi;

        /*
        يتطلب الأمر في هذه الحالة تحويل للأنواع لأنه خطأ كبير، انظر لما يلي لمعرفة السماحيات
         */
        ncpi = (int *)cpi;

        /*
        عدّل على ثابت من خلال المؤشر للحصول على سلوك غير محدد
         */
        *ncpi = 0;
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 3]

كما يوضح المثال السابق، فمن الممكن أخذ عنوان كائن ثابت وإنشاء مؤشر يشير إلى كائن غير ثابت ومن ثم استخدام المؤشر، وسيولد ذلك خطأً في برنامجك ويؤدي إلى سلوك غير محدد.

الهدف الرئيسي من استخدام الكائنات الثابتة هو وضعها في حالة قراءة فقط، والسماح للمصرف بإجراء بعض التفقد الإضافي لها ضمن البرنامج، وسيكون المصرف قادرًا على التحقق من أن كائنات const لم تُعدّل قسريًا من قبل المستخدم إلا إذا كنت قادرًا على تجاوز ذلك باستخدام المؤشرات.

إليك ميزةً إضافية. ما الذي يعنيه التالي؟

```
char c;
char *const cp = &c;
```

الأمر بسيط جدًا، إذ أن cp مؤشر يشير إلى char وهي الحالة الاعتيادية إن لم تتواجد الكلمة المفتاحية const، وتعني الكلمة المفتاحية const أن cp لا يمكن التعديل عليه، إلا أنه من الممكن تعديل الشيء المُشار إليه بواسطة المؤشر، فالمؤشر هو الثابت وليس الشيء الذي يشير إليه. المثال المُعاكس لما سبق هو:

```
const char *cp;
```

الذي يعني أن cp هو مؤشر اعتيادي يمكن التعديل عليه، إلا أن الشيء الذي يشير إليه يجب عدم تعديله، إذًا من الممكن اختيار كون المؤشر أو الشيء الذي يشير إليه قابلًا للتعديل أو لا باستخدام التصريح المناسب بحسب التطبيق الذي تحتاجه.

### 8.4.2 المؤهل volatile

ننتقل إلى volatile بعد تحدثنا عن const. يعود السبب في استخدامنا لهذا النوع من المؤهلات إلى معالجة المشاكل الناتجة عند وقت التشغيل أو الأنظمة المُدمجة المُبرمجة باستخدام لغة سي.

تخيّل كتابة شيفرة برمجية تتحكم بجهاز عتاد صلب بوضع قيم مناسبة في مسجّلات الجهاز في عناوين معروفة، ودعنا نتخيل أيضًا أن للجهاز مسجّلين، كل مسجل بطول 16 بت، بعنوان ذاكرة تصاعدي، والمسجل الأول هو مسجل التحكم والحالة control and status register -أو اختصارًا csr-، والمسجل الثاني هو منفذ البيانات، ونستطيع الوصول إلى جهاز مماثل بالطريقة التالية:

```
// مثال بلغة C المعيارية دون استخدام const أو volatile

/* صرّح عن مسجلات الجهاز، واستخدام العدد الصحيح أو العدد الصحيح القصير معرّف بحسب التطبيق
*/

struct devregs{
        unsigned short  csr;    /* مسجل التحكم والحالة */
```

```
        unsigned short  data;   /* منفذ البيانات */
};

// أنماط البتات في csr
#define ERROR   0x1
#define READY   0x2
#define RESET   0x4

/* العنوان المطلق للجهاز */
#define DEVADDR ((struct devregs *)0xffff0004)

/* عدد الأجهزة في النظام */
#define NDEVS   4

/*
انتظر الدالة حتى تقرأ بت من الجهاز n، ثم تحقق من نطاق رقم الجهاز
انتظر حتى READY أو ERROR، واقرأ البايت إن لم يحدث أي خطأ وأعد قيمته
0xffff وإلا فأعد ضبط الخطأ وأعد القيمة
*/
unsigned int read_dev(unsigned devno){

        struct devregs *dvp = DEVADDR + devno;

        if(devno >= NDEVS)
                return(0xffff);

        while((dvp->csr & (READY | ERROR)) == 0)
                ; /* فراغ. انتظر حتى الانتهاء من الحلقة */

        if(dvp->csr & ERROR){
                dvp->csr = RESET;
                return(0xffff);
        }
        return((dvp->data) & 0xff);
}
```

[مثال 4]

تُعد الطريقة المتبعة في استخدام تصريح الهيكل لوصف تخطيط مسجل الجهاز واسمه ممارسةً شائعة، لاحظ أنه لا يوجد أي كائنات معرفة من هذا النوع، إذ يحدّد التصريح ببساطة الهيكل دون استخدام أي مساحة.

نستخدم تحويل أنواع ثابت للوصول إلى مسجلات الجهاز وكأنها تشير إلى هيكل، إلا أنها تشير في هذه الحالة إلى عنوان الذاكرة بدلًا من ذلك.

إلا أن هناك مشكلةً كبيرةً في مصرّفات لغة سي السابقة، وهي متعلقة بحلقة while التكرارية التي تختبر المسجل الأول (مسجل الحالة) وتنتظر البت ERROR أو READY ليظهر، وسيلاحظ أي مصرّف جيد أن الحلقة تفحص عنوان ذاكرة مماثل بصورةٍ متكررة، وسيحاول المصرف أن يشير إلى الذاكرة مرةً واحدةً وأن ينسخ القيمة إلى المسجل لتسريع العملية؛ وهذا ما لا نريده، إذ أن هذه الحالة من الحالات التي يجب علينا التحقق من المكان الذي يشير إليه المؤشر كل دورة ضمن الحلقة.

نتيجةً للمشكلة السابقة، لم تكن معظم مصرفات لغة سي قادرةً سابقًا على تحسين أداء البرنامج، وللتخلص من هذه المشكلة (ومشاكل أخرى مشابهة مرتبطة بمتى يمكن الكتابة على شيء يشير إليه المؤشر) قُدِّمت الكلمة المفتاحية volatile، التي تخبر المصرف أن الكائن عرضةٌ للتغير المفاجئ بسبب أسباب لا يمكن التنبؤ بها من خلال النظر إلى البرنامج ذات نفسه، وتُجبر كل مرجع refernece للكائن بأن يصبح مرجعًا فعليًّا (وليس عن طريق مؤشر).

إليك البرنامج السابق (مثال 4) مكتوبًا باستخدام volatile و const.

```
/*
صرّح عن مسجلات الجهاز، واستخدام العدد الصحيح أو العدد الصحيح القصير معرّف بحسب التطبيق
*/

struct devregs{
        unsigned short volatile csr;
        unsigned short const volatile data;
};
// أنماط البتات في csr
#define ERROR   0x1
#define READY   0x2
#define RESET   0x4

/* العنوان المطلق للجهاز */
#define DEVADDR ((struct devregs *)0xffff0004)

/* عدد الأجهزة في النظام */
```

```
#define NDEVS   4

/*
انتظر الدالة حتى تقرأ بت من الجهاز n، ثم تحقق من نطاق رقم الجهاز
انتظر حتى READY أو ERROR، واقرأ البايت إن لم يحدث أي خطأ وأعد قيمته
وإلا فأعد ضبط الخطأ وأعد القيمة 0xffff
*/
unsigned int read_dev(unsigned devno){

        struct devregs * const dvp = DEVADDR + devno;

        if(devno >= NDEVS)
                return(0xffff);

        while((dvp->csr & (READY | ERROR)) == 0)
                ; /* فراغ. انتظر حتى الانتهاء من الحلقة */

        if(dvp->csr & ERROR){
                dvp->csr = RESET;
                return(0xffff);
        }

        return((dvp->data) & 0xff);
}
```

[مثال 5]

تطابق القوانين الخاصة بمزج volatile والأنواع الاعتيادية تلك الخاصة بالمؤهـل const، إذ من الممكن إسناد مؤشر يشير إلى كائن مؤهّل بالمؤهّل volatile إلى عنوان كائن اعتيادي بأمان دون أي مشـاكل، إلا أنـه من الخطر (ويجب استخدام تحويل الأنواع في هذه الحالة) أخذ عنوان الكائن المؤهل بالمؤهـل volatile ووضـعه في مؤشر يشير إلى كائن اعتيادي، واستخدام مؤشر من هذا النوع سيتسبب بسلوك غير معرّف.

إذا صُرّح عن مصفوفة أو هيكـل باسـتخدام إحـدى المـؤهلين const أو volatile، فمن الممكن لجميـع الأعضاء أن تمتلك هذا المؤهل أيضًا، وهذا الأمر المنطقي إذا فكرت به للحظة، فكيف لعضـو من هيكـل مؤهـل بالمؤهل const أن يكون قابلًا للتعديل؟

هذا يعني أن أي محاولة لإعادة كتابة المثال السابق ممكنة، فعوضًا عن تصريح مسجلات الجهاز بكونها volatile في الهيكل، من الممكن للمؤشر أي يُصرّح بأن يشير إلى هيكل volatile عوضًا عن ذلك، على النحو التالي:

```
struct devregs{
      unsigned short  csr;    /* مسجل التحكم والحالة */
      unsigned short  data;   /* منفذ البيانات  */
};
volatile struct devregs *const dvp=DEVADDR+devno;
```

بما أن dvp يشير إلى كائن volatile، فمن غير المسموح تحسين المراجع عن طريق المؤشرات، وعلى الرغم من أن ما سبق يعمل، إلا أنه ممارسةٌ سيئة، إذ ينتمي تصريح volatile إلى الهيكل، ومسجلات الجهاز هي volatile وهذا المكان الذي يجب أن يبقى فيه التصريح، لتسهيل قراءة الشيفرة البرمجية.

إذًا، مؤهل النوع volatile مهم جدًا لأي كائن سيتعرض لتغييرات، سواءٌ كانت التغييرات بواسطة العتاد الصلب أو برامج خدمات المقاطعة غير المتزامنة asynchronous interrupt service routines.

وما إن اعتقدت أنّك فهمت كلّ ما سبق بصورة مثالية، حتى يأتي التصريح التالي الذي سيغير من رأيك:

```
volatile struct devregs{
      /* محتوى */
}v_decl;
```

الذي يصرح عن النوع struct  devregs إضافةً إلى كائن مؤهل باستخدام volatile من ذلك النوع باسم v_decl. ويتبعه التصريح التالي:

```
struct devregs nv_decl;
```

الذي يصرح عن nv_decl وهو **ليس** مؤهّلًا باستخدام volatile؛ فالتأهيل ليس جزءًا من النوع struct  devregs وإنما ينطبق فقط على تصريح v_decl. لننظر للأمر من زاوية أخرى لعلّ الأمر يتضح لك بعض الشيء (التصريحان متماثلان في نتيجتهما):

```
struct devregs{
      /* محتوى */
}volatile v_decl;
```

إذا أردت الطريقة المختصرة لإرفاق مؤهل إلى نوع آخر، فيمكنك استخدام typedef لتحقيق الآتي:

```
struct x{
```

```
        int a;
};
typedef const struct x csx;

csx const_sx;
struct x non_const_sx = {1};

const_sx = non_const_sx;        /* التعديل على ثابت بتسبب بخطأ */
```

## ا. العمليات غير القابلة للتجزئة

سيفهم الذي يتعاملون مع تقنيات مقاطعات العتاد الصلب والجوانب الأخرى للوقت الحقيقي في البرمجة أهمية أنواع volatile، وهناك ضرورةٌ في هذا المجال للتأكد من أن الوصول إلى كائنات البيانات متواصل، إلا أن مناقشة هذا الأمر سيأخذنا في رحلة بعيدة عن موضوعنا هنا، لكن دعنا نتكلم عن بعض المشكلات بخصوص هذا الأمر على الأقل.

لا تخطئ الاعتقاد وتفترض أن جميع العمليات المكتوبة في لغة سي متواصلة، فعلى سبيل المثال قد يكون التصريح التالي عدّادًا يُحدّث عن طريق مقاطعة برنامج ساعة:

```
extern const volatile unsigned long realtimeclock;
```

من المهم هنا أن يتضمن التصريح على المؤهل `volatile` بسبب التغييرات اللامتزامنة التي تحصل له، ويحتوي على المؤهل `const` لأنه من غير الممكن التعديل على قيمته سوى عن طريق برنامج المقاطعة، وإن سُمح للبرنامج الوصول إليه بالطريقة التالية سنحصل على مشكلة:

```
unsigned long int time_of_day;

time_of_day = real_time_clock;
```

ماذا لو استغرقت عملية نسخ `long` إلى `long` آخر عدّة تعليمات آلة لنسخ الكلمتين `real_time_clock` و `time_of_day`؟ من الممكن حدوث مقاطعة خلال عملية الإسناد وستكون أسوأ حالة لهذه المقاطعة هي عندما تكون الكلمة الأقل ترتيبًا لـ`real_time_clock` تساوي `0xffff` والكلمة مرتفعة الترتيب تساوي `0x0000`، وبهذا ستكون قيمة الكلمة منخفضة الترتيب مساوية إلى `0xffff`. تعمل المقاطعة عملها وتزيد الكلمة منخفضة الترتيب لـ`real_time_clock` إلى `0x0` والكلمة مرتفعة الترتيب إلى `0x1` ومن ثم تعيد القيمة، ويُستكمل ما تبقى من الإسناد فيما بعد وينتهي الأمر باحتواء `time_of_day` على القيمة `0x0001ffff` و `real_time_clock` على القيمة الصائبة `0x00010000`.

تعدّ المشكلات المسابقة لما سبق منطقةً خطرة، ويعلم جميع من يعمل في البيئات غير المتزامنة هذا الأمر جيّدًا، ولا تأخذ لغة سي المعيارية أي إجراءات احترازية لتفادي هذا النوع من المشكلات، ويجب تطبيق الطريقة الاعتيادية.

يُصرّح ملف الترويسة `signal.h` عن نوع باسم `sig_atomic_t` ومن المضمون إمكانية تعديل هذا النوع بأمان عند التعامل مع الأحداث غير المتزامنة، وهذا يعني أنه من الممكن تعديله عن طريق إسناد قيمة إليه أو زيادة قيمته أو إنقاصها أو أي شيء آخر يعطي قيمة جديدة بحسب القيمة السابقة، وهو ليس آمنًا.

## 8.5 نقاط التسلسل Sequence points

ترتبط نقاط التسلسل sequence points بمشكلات برمجة الوقت الحقيقي، إلا أنها مختلفة عن المشكلات التي ناقشناها، وتعدّ بمثابة محاولة للمعيار في تعريف الحالات التي تسمح -أو لا تسمح- بها طرق معينة من التحسين، على سبيل المثال، ألقِ نظرةً على البرنامج التالي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int i_var;
void func(void);

main(){
        while(i_var != 10000){
                func();
                i_var++;
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}

void
func(void){
        printf("in func, i_var is %d\n", i_var);
}
```

[مثال 6]

قد يحاول المصرّف تحسين الأداء في الحلقة التكرارية بحيث يخزّن `i_var` في مسجّل الآلة لزيادة السرعة، إلا أن الدالة تحتاج وصولًا إلى القيمة الصحيحة من `i_var` حتى يمكنها طباعة القيمة الصحيحة، وهذا يعني أن

المسجّل يجب أن يعيد تخزين قيمة `i_var` عند كل استدعاءٍ للدالة على الأقل، ويصف المعيار الشروط التي تحدد متى وأين يحصل ذلك. تُستكمل التأثيرات الجانبية لكل تعبير في نقطة التسلسل التي سبقتها، وهذا السبب في عدم قدرتنا على الاعتماد على تعابير مشابهة لهذه:

```
a[i] = i++;
```

وذلك بسبب عدم وجود أي نقطة تسلسلية مُحدّدة ضمن الإسناد أو عوامل الزيادة والنقصان، ولا يمكننا معرفة متى سيؤثر عامل الزيادة على `i` تحديدًا.

يعرّف المعيار نقاط التسلسل على النحو التالي:

- نقطة استدعاء دالة، بعد تقييم وسطائها.
- نهاية المعامل الأول للعامل `&&`.
- نهاية المعامل الأول للعامل `||`.
- نهاية المعامل الأول للعامل الشرطي `?:`.
- نهاية كل من معاملات عامل الفاصلة `,`.
- نهاية تقييم تعبير كامل، على النحو التالي:
  - تقييم القيمة الأولية لكائن `auto`.
  - تعبير اعتيادي، أي متبوع بفاصلة منقوطة.
  - تعابير التحكم في تعليمات `do` أو `while` أو `if` أو `switch` أو `for`.
  - التعبيران الآخران في تعليمة حلقة `for`.
  - التعبير في تعليمة `return`.

## 8.6 الخاتمة

قدّم هذا الفصل شرحًا عن النقاط التخصصية من اللغة. تُعد المشكلات المتعلقة بالنطاق والربط والمدة الزمنية مهمةً دون أي شك، وإن وجدت هذا الموضوع صعب الفهم بعض الشيء، حاول تعلم القوانين الأساسية فقط. يضع المعيار كثيرًا من القواعد سعيًا منه للوضوح والبعد عن الغموض، ومن الأسهل الالتزام فقط بالطريقة البسيطة لإنجاز المهام دون محاولة الطرق المعقدة، واستخدم المثال 2 (الفصل الأول) مرجعًا إذا أردت.

يعتمد استخدام `typedef` على مستوى خبرتك، فمن الشائع استخدامها لتجنب بعض الجوانب غير السارة بخصوص التصاريح عن الأنواع المعقدة.

ستشهد استخدام `const` في برامج كثيرة، وتستخدم النماذج الأولية لدوال بعض المكتبات مبـدأ اسـتخدام مؤشر يشير إلى شيء لا يمكن التعديل عليه بكثرة.

تُستخدم `volatile` من قِبل التطبيقات الاختصاصية فقط، وسيهمك هذا الاسـتخدام إذا كنت تعمـل في مجال برمجة الوقت الحقيقي أو الأنظمة المُدمجة، وإلّا فأهميتها لـك محـدودة، وينطبـق الأمـر أيضًـا على نقـاط التسلسل، إذ ستكون درجة دعم المصرفات القادمة لهذه الميزتين سؤالًا مثيرًا للاهتمام.

# دورة تطوير تطبيقات الويب
# باستخدام لغة Ruby

دورة تدريبية متكاملة من الصفر وحتى الاحتراف
تمكنك من التخصص في هندسة الويب ودخول سوق العمل

**التحق بالدورة الآن**

# 9. المكتبات Libraries

## 9.1 مقدمة

سيساهم قرار لجنة لغة سي المعيارية بتعريف إجراءات Routines عدد من المكتبات بما يعود بالنفع الكبير لجميع مستخدمي لغة سي دون أي شك، إذ لم يكن هناك أي معيار مُتّفق عليه يعرف إجراءات المكتبات ويقدم دعمًا للغة، وانعكس ذلك سلبًا على قابلية نقل البرامج Portability كثيرًا.

ليس من المطلوب أن تتواجد إجراءات المكتبة داخل البرنامج، إذ تتواجد فقط في البيئات المُستضافة Hosted environment وتنطبق هذه الحالة غالبًا على مبرمجي التطبيقات، بينما لن تكون المكتبات موجودةً في حالة مبرمجي النظم المُدمجة ومبرمجي البيئات المُستضافة؛ إذ يستخدم هذا النوع من المبرمجين لغة سي لوحدها ضمن بيئة مستقلة Freestanding environment، وبالتالي لن يكون هذا الفصل مهمًّا لهم.

لن تكون المواضيع التي ستتبع هذه المقدمة مكتوبةً بهدف قراءتها بالتسلسل، ويمكنك قراءتها أجزاء منفصلة، إذ نهدف هنا إلى توفير محتوى يُستخدم كمرجع بسيط للمعلومات وليس درس تعليمي شامل، وإلا فسيتطلب الأمر كتابًا مخصصًا لنستطيع تغطية جميع المكتبات.

### 9.1.1 ملفات الترويسات والأنواع القياسية

تُستخدم عدّة أنواع types وماكرو macro على نحوٍ واسع في دوال المكتبات، وتُعرّف في ملف `#include` الموافق للدالة. كما سيصرِّح ملف الترويسة Header عن الأنواع والنماذج الأولية المناسبة لدوالّ المكتبة، وعلينا أن نذكر عدّة نقاط مهمة بهذا الخصوص:

- تُحجز جميع المعرّفات الخارجية External identifiers وأسماء الماكرو المُصرّح عنها في أي ملف ترويسة لمكتبة، بحيث لا يُمكن استخدامها أو إعادة تعريفها لأي استعمال آخر. قد تحمل الأسماء في

بعض الأحيان أثرًا "سحريًّا" عندما تكون معروفةً للمصرف ويتسبب ذلك باستخدام بعض الأساليب الخاصة لتطبيقها.

- جميع المعرفات التي تبدأ بمحرف الشرطة السفلية underscore _ محجوزة.
- يمكن تضمين ملفات الترويسة بأي ترتيب كان ولأكثر من مرة، إلا أن تضمينها يجب أن يحدث خارج أي تصريح داخلي أو تعريف وقبل أي استخدام للدوال والماكرو المعرّفة بداخلها.
- نحصل على سلوك غير معرّف إن مرّرنا **قيمة غير صالحة** لدالة، مثل مؤشر فارغ، أو قيمة خارج نطاق القيم التي تقبلها الدالة.

لا يُحدّد المعيار النوع ذاته من القيود الموضحة أعلاه بخصوص المعرّفات، وقد يتبادر إلى ذهنك المغامرة والاستفادة من هذه الثغرات، إلا أننا ننصحك بالالتزام بالطرق الآمنة.

ملفات الترويسة المعيارية هي:

```
<assert.h>   <locale.h>   <stddef.h>
<ctype.h>    <math.h>     <stdio.h>
<errno.h>    <setjmp.h>   <stdlib.h>
<float.h>    <signal.h>   <string.h>
<limits.h>   <stdarg.h>   <time.h>
```

معلومة عامّة أخيرة: تُنفّذ العديد من إجراءات المكتبات على أنها ماكرو في عملها، شرط ألا يتسبب ذلك في أي مشاكل ناتجة عن الآثار الجانبية لهذا الاستخدام (كما وضّح الفصل السابع). يضمن المعيار وجود دالة اعتيادية إذا كان هناك دالة تُستخدم عادةً مثل ماكرو موافقة لها، بحيث تُنجز الدالتان العمل ذاته، وحتى تستخدم الدالة الاعتيادية عليك أن تُلغي تعريف الماكرو باستخدام التوجيه #undef، أو أن تكتب اسم الماكرو داخل قوسين، مما يضمن أنه لن يُعامل معاملة الماكرو:

```
some function("Might be a macro\n"); //قد يمثل هذا ماكرو
(some function)("Can't be a macro\n"); //من غير الممكن أن يكون هذا ماكرو
```

## 9.1.2 مجموعات المحارف والاختلافات اللغوية

قدّمت لجنة المعيار بعض المزايا الموجهة لاستخدام سي في البيئات التي لا تستخدم مجموعة محارف معيار US ASCII، والاختلافات اللغوية الأخرى التي تستخدم الفاصلة أو النقطة للدلالة على الفاصلة العشرية. قُدّمت التسهيلات (ألقِ نظرةً على القسم) بفكرة برنامج يتحكم بسلوك دوال المكتبات ليوافق الاختلافات اللغوية.

تُعد مهمة تقديم دعم متكامل لمختلف اللغات والتقاليد مهمّة صعبة، وغالبًا ما يُساء فهمها، والتسهيلات المُزوّدة بمكتبات لغة سي هي الخطوة الأولى في هذا المشوار الطويل للوصول إلى الحل الكامل.

الحل الوحيد المُعرّف من المعيار هو ما يدعى بلغة C المحلية locale، ويقدّم هذا دعمًا فعالًا على نحوٍ مشابه لعمل لغة سي القديمة، بينما تقدم الإعدادات المحلية الأخرى سلوكًا مختلفًا بحسب تعريف التطبيق.

### 9.1.3 ملف ترويسة <stddef.h>

هناك عددٌ صغير من الأنواع والماكرو الموجودة في `<stddef.h>` والمُستخدمة كثيرًا في ملفات الترويسة الأخرى، الذين سنتكلم عنها لاحقًا.

تعطينا عملية طرح مؤشر من آخر نتيجةً من نوع مختلف بحسب التطبيق، وللسماح بالاستخدام الآمن في حال الاختلاف، يعرّف ملف الترويسة `<stddef.h>` النوع `ptrdiff_t`، كما يمكنك استخدام النوع `size_t` لتخزين نتيجة العامل `sizeof` بصورةٍ مشابهة.

لأسباب لا تزال مخفية عنّا للوقت الحالي، هناك "مؤشر ثابت فارغ معرّف بحسب التنفيذ" معرّف في `<stddef.h>` باسم `NULL`، قد يبدو ذلك غير ضروريًا بالنظر إلى أن لغة سي تعرّف ثابت الرقم الصحيح 0 إلى القيمة التي يمكن إسنادها إلى مؤشر فارغ ومقارنتها معه، إلا أن الممارسة التالية **شائعة جدًا** وسط مبرمجي لغة سي المتمرسين:

```
#include <stdio.h>
#include <stddef.h>
FILE *fp;

if((fp = fopen("somefile", "r")) != NULL){
        /* وهلمّ جرًا  */
```

هناك ماكرو باسم `offsetof` مهمته إيجاد مقدار الإزاحة offset بالبايت لعضو هيكل ما؛ إذ أن مقدار الإزاحة هو المسافة بين العضو وبداية الهيكل، إليك مثالًا عن ذلك:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <stddef.h>

main(){
        size_t distance;
        struct x{
                int a, b, c;
```

```
        }s_tr;

        distance = offsetof(s_tr, c);
        printf("Offset of x.c is %lu bytes\n",
                (unsigned long)distance);

        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 1]

يجب أن يكون التعبير `s_tr.c` قادرًا على التقييم مثل عنوانٍ لثابت (انظر الفصل السادس)، فإذا كان العضو الذي تبحث عن مقدار إزاحته هو حقل بتات bitfield فستحصل على سلوك غير معرّف في هذه الحالة.

لاحظ طريقة تحويل الأنواع في `size_t` التي نحوّل فيها لأطول نوع ممكن عديم الإشارة للتأكد من أن وسيط `printf` هو من النوع المناسب (`%ul` هو رمز التنسيق الخاص بطباعة النوع `unsigned long`) مع المحافظة على دقة القيمة، وهذا بسبب أن نوع `size_t` مجهول للمبرمج.

العنصر الأخير المُصرّح عنه في `<stddef.h>` هو `wchar_t` وهو قيمة عدد صحيح كبيرة يُمكن تخزين محرف عريض wide character فيها ينتمي إلى أي مجموعة محارف موسّعة extended character set.

### 9.1.4 ملف الترويسة <error.h>

يعرّف ملف الترويسة ما يُدعى `errno` الذي يُستبدل بتعبير ثابت ذو قيمة صحيحة لا تساوي الصفر، ويُضمن أن يكون هذا التعبير مقبولًا في موجّهات `#if`، ويعرّف أيضًا الماكرو `EDOM` والماكرو `ERANGE` اللذان يُستخدمان في الدوال الرياضية للدلالة على نوع الخطأ الحاصل وسنشرحهما بتوسعٍ أكبر لاحقًا.

يُستخدم `errno` للدلالة على خطأ مُكتشف من دوال المكتبات، وهو ليس متغير خارجي بالضرورة -كما كان سابقًا- بل هو قيمةٌ متغيرةٌ من نوع `int`، إذ تُسند القيمة صفر إليه عند بداية تشغيل البرنامج، ولا يُعاد ضبط قيمته من تلك النقطة فصاعدًا إلا إذا جرى ذلك مباشرةً؛ أي بكلمات أخرى، لا تحاول إجراءات المكتبات إعادة ضبطه إطلاقًا، وإذا حدث أي خطأ في إجراء المكتبة فإن قيمة `errno` تتغير إلى قيمة معينة تشير إلى نوع الخطأ الحاصل ويُعيد الإجراء هذه القيمة (غالبًا -1) للدلالة على الخطأ، إليك تطبيقًا عمليًا عن ذلك:

```
#include <stdio.h>
#include <stddef.h>
#include <errno.h>

errno = 0;
```

```
if(some_library_function(arguments) < 0){
        // خطأ في معالجة الشيفرة المصدرية
        // قد يستخدم قيمة errno مباشرةً
```

تطبيق errno غير معروف بالنسبة للمبرمج، فلا تحاول فعل أي شيء على هذه القيمة عدا إعادة ضبطها أو فحصها، فعلى سبيل المثال، من غير المضمون أن يكون لهذه القيمة عنوانًا على الـذاكرة. يجب أن تتفقّـد قيمـة errno فقط في حال كـانت دالـة المكتبـة المُسـتخدمة توثّـق تأثيرهـا على errno، إذ يمكن لـدوال المكتبـات الأخرى أن تضبطها إلى قيمة عشوائية بعد استدعائها إلا إذا كان وصف الدالة يحدد ما الذي تفعله الدالـة بالقيمـة بصورةٍ صريحة.

## 9.2 تشخيص الأخطاء

من المفيد عندما تبحث عن الأخطاء في برنامجك أن تكون قادرًا على فحص قيمة تعبـير مـا والتأكـد من أن قيمته هي ما تتوقّعها فعلًا، وهذا ما تقدمه لك دالة assert.

يجب عليك أن تُضمّن ملف الترويسة <assert.h> أولًا حتى تتمكن من استخدام الدالـة assert، وهـذه الدالة معرفةٌ على النحو التالي:

```
#include <assert.h>

void assert(int expression)
```

إذا كانت قيمة التعبير صفر (أي "خطأ false")، فستطبع الدالة assert رسالةً تـدل على التعبـير الفاشـل، وتتضمن الرسالة اسم ملف الشيفرة المصدرية والسطر الذي يحتوي على التوكيـد assertion والتعبـير، ومن ثم تُستدعى دالة abort التي تقطع عمل البرنامج.

```
assert(1 == 2);

/* قد يتسبب ما سبق بالتالي */

Assertion failed: 1 == 2, file silly.c, line 15
```

في حقيقة الأمر الكلمة Assert معرّفة مثل ماكرو، وليس مثل دالة حقيقية. لتعطيل التوكيدات في برنامج يستوفي شروط عمله دون مشاكل، نعرّف الاسم NDEBUG **قبل** تضمين <assert.h>، وسـيعطّل هـذا جميـع التوكيدات الموجودة في كامل البرنامج. عليك أن تعرف الآثار الجانبية التي يتسـبب بهـا هـذا للتعبـير، فلن يُقيّم التعبير تعطيل التوكيدات باسـتخدام NDEBUG، وبـذلك سيسـلك المثـال التـالي سـلوكًا غـير مُتوقـع عنـد إلغـاء التوكيدات باستخدام #define NDEBUG.

```c
#define NDEBUG
#include <assert.h>

void
func(void)
{
        int c;
        assert((c = getchar()) != EOF);
        putchar(c);
}
```

[مثال 2]

لاحظ أن الدالة `assert` لا تُعيد أي قيمة.

## 9.3 التعامل مع المحارف

هناك مجموعةٌ متنوعةٌ من الدوال تهدف لفحص وربط mapping المحارف، إذ تسمح لك دوال الفحص test functions -التي سنناقشها أولًا- بفحص فيما إذا كان المحرف من نوع معين، مثل حرف أبجدي، أو حرف صغير أم كبير، أو محرف رقمي، أو محرف تحكّم control character، أو إشارة ترقيم، أو محرف قابل للطباعة أو لا، وهكذا. تُعيد دوال فحص المحرف قيمة عدد صحيح integer تساوي الصفر إذا لم يكن المحرف المُحدّد منتميًا إلى التصنيف المذكور، أو قيمة غير صفرية عدا ذلك، ويأخذ هذا النوع من الدوال وسيطًا ذا قيمة عدد صحيح تُمثّل قيمته من نوع "unsigned char"، أو عدد صحيح ثابت قيمته "EOF" مثل تلك القيمة المُعادة من دوال مشابهة، مثل `getchar()`، ونحصل على سلوك غير معرّف خارج هذه الحالات.

تعتمد هذه الدوال على إعدادات البرنامج المحلية:

**محرف الطباعة printing character** هو عضو من مجموعة المحارف المعرّفة بحسب التطبيق، ويشغل كل محرف طباعة موقع طباعة واحد، و**محرف التحكم control character** هو عضو من مجموعة المحارف المعرفة بحسب التطبيق أيضًا إلا أن كل محرف منها ليس بمحرف طباعة. إذا استخدمنا مجموعة محارف معيار 7-bit ASCII، ستكون محارف الطباعة بين الفراغ `(0x20)` وتيلدا tilde `(0x7e)`، بينما تكون محارف التحكم بين `NUL (0x0)` و `US (0x1f)` والمحرف `DEL (0x7f)`.

تجد أدناه ملخصًا يحتوي على جميع دوال فحص المحرف، ويجب تضمين ملف الترويسة `<ctype.h>` قبل استخدام أيّ منها.

- دالة `isalnum(int c)`: تُعيد القيمة "True" إذا كان `c` محرفًا أبجديًا أو رقمًا؛ أي `(isalpha(c)||)` `(isdigit(c)`.
- دالة `isalpha(int c)`: تُعيد القيمة "True" إذا كان هذا الشرط `(isupper(c)||)` `(islower(c)` محققًا، كما أنها تُعيد القيمة True لمجموعة المحارف المُعرفة بحسب التطبيق التي لا تعيد القيمة True عند تمريرها على الدالة `iscntrl` أو `isdigit` أو `ispunct` أو `isspace` وتكون مجموعة المحارف الإضافية هذه فارغة في لغة سي المحلية.
- دالة `iscntrl(int c)`: تُعيد القيمة True إذا كان المحرف محرف تحكم.
- دالة `isdigit(int c)`: تُعيدالقيمة True إذا كان المحرف رقمًا عشريًا decimal.
- دالة `isgraph(int c)`: تُعيد القيمة True إذا كان المحرف هو محرف طباعة عدا محرف المسافة الفارغة.
- دالة `islower(int c)`: تُعيد القيمة True إذا كان المحرف محرفًا أبجديًا صغيرًا lower case، كما أنها محققة لمجموعة محارف معرفة حسب التطبيق لا تُعيد القيمة True لأي من الدالة `iscntrl` أو `isdigit` أو `ispunct` أو `isspace`، وتكون مجموعة المحارف الإضافية هذه فارغة في C المحلية.
- دالة `isprint(int c)`: تُعيد القيمة True إذا كان المحرف محرف طباعة (متضمّنًا محرف المسافة الفارغة).
- دالة `ispunct(int c)`: تُعيد القيمة True إذا كان المحرف محرف طباعة عدا محرف المسافة الفارغة أو المحارف التي تُعيد القيمة True في دالة `isalnum`.
- دالة `isspace(int c)`: تُعيد القيمة True إذا كان المحرف محرف مسافة بيضاء (المحرف `' '` أو `\f` أو `\n` أو `\r` أو `\t` أو `\v`)
- دالة `isupper(int c)`: تُعيد القيمة True إذا كان المحرف محرف أبجديًا كبيرًا upper case، كما أنها محققة لمجموعة محارف معرفة حسب التطبيق لا تُعيد القيمة True لأي من الدالة `iscntrl` أو `isdigit` أو `ispunct` أو `isspace`، وتكون مجموعة المحارف الإضافية هذه فارغة في لغة سي المحلية.
- دالة `isxdigit(int c)`: تُعيد القيمة True إذا كان المحرف رقم ستّ عشري صالح.

هناك دالتان إضافيتان تربطان المحارف من مجموعةٍ إلى أخرى، إذ تُعيد الدالة `tolower` محرفًا صغيرًا موافقًا لمحرف كبير مُرِّر لها، على سبيل المثال:

```
tolower('A') == 'a'
```

تُعيد الدالة `tolower` المحرف ذاته، إذا تلقّت أي محرف مُغاير للمحارف الأبجدية الكبيرة.

تربط الدالة `toupper` المعاكسة للدالة السابقة في عملها المحرف المُمرّر لها إلى مكافئه الكبير.

تُجرى عملية الربط في الدالتين السابقتين فقط في حال وجود محرف موافق للمحرف المُمرّر لها، إذ لا تمتلك بعض اللغات محرفًا كبيرًا موافق لمحرف صغير والعكس صحيح.

## 9.4 التوطين Localization

نستطيع التحكم بالإعدادات المحليّة للبرنامج من هنا، ويصرح ملف الترويسة `<locale.h>` دوال `setlocale` و `localeconv` وعددًا من الماكرو:

```
LC_ALL
LC_COLLATE
LC_CTYPE
LC_MONETARY
LC_NUMERIC
LC_TIME
```

تُستبدل جميع الماكرو بتعبير ثابت ذي قيمة عدد صحيح وتُستخدم القيمة الناتجة عن التعبير مكان الوسيط `category` في الدالة `setlocale` (يمكن تعريف أسماء أخرى أيضًا، ويجب أن يبدأ كل منها بـ `LC_X`، إذ يمثّل `X` المحرف الأبجدي الكبير)، ويُستخدم النوع `struct lconv` لتخزين المعلومات المتعلقة بتنسيق القيم الرقمية، ويُستخدَم `CHAR_MAX` للأعضاء من النوع `char` للدلالة على أن القيمة غير متوافرة في الإعدادات المحلية الحالية.

يحتوي `lconv` على عضو واحد على الأقل من الأعضاء التالية:

| العضو | الاستخدام | تمثيله في إصدارات سي المحلية | ملاحظات إضافية |
|---|---|---|---|
| `char *decimal_point` | يُستخدم المحرف للفاصلة العشرية في القيم المنسقة غير المالية. | "." | --- |
| `char *thousands_sep` | يُستخدم المحرف لفصل مجموعات من الخانات الواقعة على يسار الفاصلة العشرية في القيم المنسقة غير المالية. | "" | --- |
| `char *grouping` | يعرّف عدد الخانات في كل | "" | يحدد `"\3"` أن الخانات |

| العضو | الاستخدام | تمثيله في إصدارات سي المحلية | ملاحظات إضافية |
|---|---|---|---|
| | مجموعة في القيم المنسقة غير المالية، وتحدد القيمة CHAR_MAX أنه لا يوجد أي تجميع إضافي مطلوب، بينما تحدد القيمة 0 أنه يجب تكرار العنصر السابق للخانات الرقمية المتبقية، وإذا استُخدمت أي قيمة أخرى فهي تمثل قيمة العدد الصحيح المُمثل لعدد الخانات التي تتألف منها المجموعة الحالية (المحرف اللاحق في السلسلة النصية يُفسَّر قبل التجميع. | | يجب أن تجمع كل ثلاثة في مجموعة ويشير محرف الإنهاء الفارغ terminating null في السلسلة النصية إلى تكرار 3\. |
| char *int_curr_symbol | تُستخدم المحارف الأولى الثلاث لتخزين رمز العملة العالمي الأبجدي لإصدار سي المحلي، بينما يُستخدم المحرف الرابع للفصل بين رمز العملة العالمي والكمية النقدية. | "" | --- |
| char *currency_symbol | يمثل رمز العملة للإصدار المحلي الحالي. | "" | --- |
| char *mon_decimal_point | المحرف المُستخدم مثل فاصلة عشرية عند تنسيق القيم النقدية. | "" | --- |
| char *mon_thousands_sep | يمثل فاصل مجموعات خانات الأرقام ذات القيم المنسقة بتنسيق نقدي. | "" | --- |
| char *mon_grouping | يعرف عدد الخانات في كل مجموعة عند تنسيق قيم نقدية، وتُفسّر عناصره على أنها جزء من التجميع | "" | --- |
| char *positive_sign | السلسلة النصية | "" | --- |

| العضو | الاستخدام | تمثيله في إصدارات سي المحلية | ملاحظات إضافية |
|---|---|---|---|
| | المُستخدمة للدلالة على قيمة نقدية غير سالبة. | | |
| `char *negative_sign` | السلسلة النصية المُستخدمة للدلالة على قيمة نقدية سالبة. | "" | --- |
| `char int_frac_digits` | عدد الخانات التي تُعرض بعد الفاصلة العشرية في قيمة نقدية منسقة عالميًا. | `CHAR_MAX` | --- |
| `char frac_digits` | عدد الخانات التي تُعرض بعد الفاصلة العشرية في قيمة نقدية غير منسقة عالميًا. | `CHAR_MAX` | --- |
| `char p_cs_precedes` | قيمة `1` تدل على وجوب إتباع `currency_symbol` بالقيمة عند تنسيق قيمة غير سالبة نقدية، بينما تدل القيمة `0` على إسباق `currency_symbol` بالقيمة. | `CHAR_MAX` | --- |
| `char p_sep_by_space` | قيمة `1` تدل على تفريق رمز العملة من القيمة بمسافة فارغة عند تنسيق قيمة غير سالبة نقدية، بينما تدل قيمة `0` على عدم وجود أي مسافة فارغة. | `CHAR_MAX` | --- |
| `char n_cs_precedes` | تشابه `p_cs_precedes` ولكن للقيم النقدية السالبة. | `CHAR_MAX` | --- |
| `char n_sep_by_space` | تشابه `p_sep_by_space` ولكن للقيم النقدية السالبة. | `CHAR_MAX` | --- |
| `char n_sign_posn` | يشابه `p_sign_posn` | `CHAR_MAX` | --- |

| العضو | الاستخدام | تمثيله في إصدارات سي المحلية | ملاحظات إضافية |
|---|---|---|---|
| | ولكن للقيم النقدية السالبة. | | |
| `char p_sign_posn` | يمثل موقع `positive_sign` للقيم النقدية المنسقة غير السالبة. | `CHAR_MAX` | يتبع الشروط التالية: تُحيط الأقواس القيمة النقدية و `currency_symbol`. تسبق السلسلة النصية كل من القيمة النقدية و `currency_symbol`. تتبع السلسلة النصية القيمة النقدية و `currency_symbol`. تسبق السلسلة النصية القيمة `currency_symbol`. تتبع السلسلة النصية القيمة `currency_symbol` |

### 9.4.1 دالة setlocale لضبط الإعدادات المحلية

يكون تعريف دالة `setlocale` على النحو التالي:

```
#include <locale.h>

char *setlocale(int category, const char *locale);
```

تسمح هذه الدالة بضبط إعدادات البرنامج المحلية، ويمكن ضبط جميع أجزاء الإصدار المحلي باختيـار القيم المناسبة لوسيط التصنيف `category` كما يلي:

- القيمة `LC_ALL`: تضبط كامل الإصدار المحلي.
- القيمة `LC_COLLATE`: تعديل سلوك `strcoll` و `strxfrm`.
- القيمة `LC_CTYPE`: تعديل سلوك دوال التعامل مع المحارف character-handling.
- القيمة `LC_MONETARY`: تعديل تنسيق القيم النقدية المُعادة من دالة `localeconv`.
- القيمة `LC_NUMERIC`: تعديل محرف الفاصلة لتنسيق الدخل والخرج وبرامج تحويل السلاسل النصية.

- القيمة `LC_TIME`: تعديل سلوك `strftime`.

يمكن ضبط قيم الإعدادات المحلية إلى:

| | |
|---|---|
| "C" | تحديد البيئة ذات المتطلبات الدنيا لترجمة سي C |
| "" | تحديد البيئة الأصيلة المعرفة حسب التطبيق |
| قيمة معرفة بحسب التنفيذ | تحديد البيئة الموافقة لهذه القيمة |

البيئة الافتراضية عند بداية البرنامج موافقة للبيئة التي نحصل عليها عند تنفيذ التعليمة التالية:

```
setlocale(LC_ALL, "C");
```

يمكن فحص السلسلة النصية الحالية المترافقة مع تصنيف ما بتمرير مؤشر فارغ null قيمةً للوسيط `locale`؛ نحصل على السلسلة النصية المترافقة مع التصنيف `category` المحدد للتوطين الجديد إذا كان من الممكن حصول التصنيف المحدد، وتُستخدم هذه السلسلة النصية في استدعاء لاحق للدالة `setlocale` مع تصنيفها المترافق لاستعادة الجزء الموافق من إعدادات البرنامج المحلية، وإذا كان التحديد غير ممكن الحصول نحصل على مؤشر فراغ دون تغيير الإعدادات المحلية.

### 9.4.2 دالة localeconv

يكون تصريح الدالة على النحو التالي:

```
#include <locale.h>

struct lconv *localeconv(void);
```

تُعيد هذه الدالة مؤشرًا يشير إلى هيكل من النوع `struct lconv`، ويُضبط هذا المؤشر طبقًا للإعدادات المحلية الحالية ويمكن تغييره باستدعاء لاحق للدالة `localconv` أو `setlocale`، ويجب ألّا يكون الهيكل قابلًا للتعديل بأي طريقة أخرى.

على سبيل المثال، إذا كانت إعدادات القيم النقدية المحلية الحالية مُمثّلةً حسب الإعدادات التالية:

| | |
|---|---|
| `IR£1,234.56` | تنسيق القيم الموجبة |
| `(IR£1,234.56)` | تنسيق القيم السالبة |
| `IRP 1,234.56` | التنسيق العالمي |

يجب أن تحمل الأعضاء التي تمثّل القيم النقدية في `lconv` القيم التالية:

| | |
|---|---|
| `int_curr_symbol` | `" IRP"` |
| `currency_symbol` | `"£IR"` |

| | |
|---|---|
| mon_decimal_point | "." |
| mon_thousands_sep | "," |
| mon_grouping | "3\" |
| postive_sign | "" |
| negative_sign | "" |
| int_frac_digits | 2 |
| frac_digits | 2 |
| p_cs_precedes | 1 |
| p_sep_by_space | 0 |
| n_cs_precedes | `1 |
| n_sep_by_space | 0 |
| p_sign_posn | CHAR_MAX |
| n_sign_posn | 0 |

## 9.5 القيم الحدية

يعرّف ملفا الترويسة <float.h> و <limits.h> عدة قيم حدية معرفة حسب التطبيق.

### 9.5.1 ملف الترويسة <limits.h>

الترويسة <limits.h> يوضح الجدول 1 الأسماء المُصرح عنها في هذا الملف وقيمها المسموحة، إضافةً إلى وصف موجز عن وظيفتها، إذ يوضح وصف SHRT_MIN مثلًا أن قيمة الاسم في بعض التطبيقات يجب أن تكون أقل من أو تساوي القيمة 32767-، وهذا يعني أن البرنامج لا يستطيع الاعتماد على متغيرات صغيرة short لتخزين قيم سالبة تتعدى 32767- إذا أردنا قابلية نقل أكبر للبرنامج. قد يدعم التطبيق في بعض الأحيان القيم السالبة الأكبر إلا أن الحد الأدنى الذي يجب أن يدعمه التطبيق هو 32767-.

الجدول 19: أسماء ملف الترويسة <limits.h>

| الاسم | القيم المسموحة | الوصف |
|---|---|---|
| CHAR_BIT | (≤8) | بتات في قيمة من نوع char |
| CHAR_MAX | اقرأ الملاحظة | القيمة العظمى لنوع char |
| CHAR_MIN | اقرأ الملاحظة | القيمة الدنيا لنوع char |
| INT_MAX | (≤+32767) | القيمة العظمى لنوع int |
| INT_MIN | (≥-32767) | القيمة الدنيا لنوع int |
| LONG_MAX | (≤+2147483647) | القيمة العظمى لنوع long |
| LONG_MIN | (≥-2147483647) | القيمة الدنيا لنوع long |

| الاسم | القيم المسموحة | الوصف |
|---|---|---|
| MB_LEN_MAX | (1≤) | عدد البتات الأعظمي في محرف متعدد البتات multibyte character |
| SCHAR_MAX | (+127≤) | القيمة العظمى لنوع signed char |
| SCHAR_MIN | (−127≥) | القيمة الدنيا لنوع signed char |
| SHRT_MAX | (+32767≤) | القيمة العظمى لنوع short |
| SHRT_MIN | (−32767≥) | القيمة الدنيا لنوع short |
| UCHAR_MAX | (255U≤) | القيمة العظمى لنوع unsigned char |
| UINT_MAX | (65535U≤) | القيمة الدنيا لنوع unsigned int |
| ULONG_MAX | (4294967295U≤) | القيمة العظمى لنوع unsigned long |
| USHRT_MAX | (65535U≤) | القيمة الدنيا لنوع unsigned short |

ملاحظة: إذا كان التطبيق يعامل char على أنه من نوع ذو إشارة فقيمة CHAR_MAX وCHAR_MIN مماثلة لقيمة SCHAR الموافق لها، وإلا فقيمة CHAR_MIN هي صفر وقيمة CHAR_MAX هي مساوية لقيمة UCHAR_MAX.

### 9.5.2 ملف الترويسة <float.h>

يتضمن ملف الترويسة <float.h> قيمًا دنيا للأرقام ذات الفاصلة العائمة floating point بصورةٍ مشابهة لما سبق، ويمكن الافتراض عند عدم وجود قيمة دنيا لنوع ما أن هذا النوع لا يمتلك قيمة دنيا أو أن القيمة مرتبطة بقيمة أخرى.

الجدول 20: أسماء ملف الترويسة <float.h>

| الاسم | القيم المسموحة | الوصف |
|---|---|---|
| FLT_RADIX | (2≤) | تمثيل أساس الأس |
| DBL_DIG | (10≤) | عدد خانات الدقة في نوع double |
| DBL_EPSILON | (1E−9≥) | العدد الموجب الأدنى الذي يحقق 1.0 + x ≠ 1.0 |
| DBL_MANT_DIG | (—) | عدد خانات أساس FLT_RADIX في الجزء العشري من النوع double |
| DBL_MAX | (1E+37≤) | القيمة العظمى لنوع double |
| DBL_MAX_10_EXP | (+37≤) | القيمة العظمى لأس أساسه 10 من نوع double |
| DBL_MAX_EXP | (—) | القيمة العظمى لأس أساسه FLT_RADIX من نوع double |
| DBL_MIN | (1E−37≥) | القيمة الدنيا للنوع double |
| DBL_MIN_10_EXP | (37≥) | القيمة الدنيا لأس أساسه 10 من نوع double |

| الاسم | القيم المسموحة | الوصف |
|---|---|---|
| DBL_MIN_EXP | (—) | القيمة الدنيا لأس أساسه FLT_RADIX من نوع double |
| FLT_DIG | (6≤) | عدد خانات الدقة في نوع float |
| FLT_EPSILON | (1E-5≥) | العدد الموجب الأدنى الذي يحقق 1.0 + x ≠ 1.0 |
| FLT_MANT_DIG | (—) | عدد خانات أساس FLT_RADIX في الجزء العشري من النوع float |
| FLT_MAX | (1E+37≤) | القيمة العظمى للنوع float |
| FLT_MAX_10_EXP | (+37≤) | القيمة العظمى لأس أساسه 10 من نوع float |
| FLT_MAX_EXP | (—) | القيمة العظمة لأس أساسه FLT_RADIX من نوع float |
| FLT_MIN | (1E-37≥) | القيمة الدنيا للنوع float |
| FLT_MIN_10_EXP | (-37≥) | القيمة الدنيا لأس (أساسه 10) من نوع float |
| FLT_MIN_EXP | (—) | القيمة الدنيا لأس أساسه FLT_RADIX من نوع float |
| FLT_ROUNDS | (0) | يحدد التقريب للفاصلة العائمة، غير مُحدّد لقيمة 1-، تقريب باتجاه الصفر لقيمة 0، تقريب للقيمة الأقرب لقيمة 1، تقريب إلى اللا نهاية الموجبة لقيمة 2، تقريب إلى اللا نهاية السالبة لقيمة 3. أي قيمة أخرى تكون محددة بحسب التطبيق |
| LDBL_DIG | (10≤) | عدد خانات الدقة في نوع long double |
| LDBL_EPSILON | (1E-9≥) | العدد الموجب الأدنى الذي يحقق 1.0 + x ≠ 1.0 |
| LDBL_MANT_DIG | (—) | عدد خانات أساس FLT_RADIX في الجزء العشري من النوع long double |
| LDBL_MAX | (1E+37≤) | القيمة العظمى للنوع long double |
| LDBL_MAX_10_EXP | (+37≤) | القيمة العظمى لأس أساسه 10 من نوع long double |
| LDBL_MAX_EXP | (—) | القيمة العظمى لأس أساسه FLT_RADIX من نوع long double |
| LDBL_MIN | (1E-37≥) | القيمة الدنيا للنوع long double |
| LDBL_MIN_10_EXP | (-37≥) | القيمة الدنيا لأس -أساسه 10- من نوع long double |
| LDBL_MIN_EXP | (—) | القيمة الدنيا لأس -أساسه FLT_RADIX- من نوع long double |

## 9.6 الدوال الرياضية

إذا كنت تكتب برامجًا رياضيّة تجري عمليات على الفاصلة العائمة وما شابه، فهذا يعني أنك تحتاج الوصول إلى مكتبات الدوال الرياضية دون أدنى شك، ويأخذ هذا النوع من الدوال وسطاءً من النوع `double` ويعيد نتيجةً من النوع ذاته أيضًا. تُعرَّف الدوال والماكرو المرتبطة بها في ملف الترويسة `<math.h>`.

يُستبدل الماكرو `HUGE_VAL` المُعرف إلى تعبير ذي قيمة موجبة من نوع عدد عشري مضاعف الدقة "double"، ولا يمكن تمثيله بالضرورة باستخدام النوع `float`.

نحصل على **خطأ نطاق domain error** في جميع الدوال إذا كانت قيمة الوسيط المُدخل خارج النطاق المُعرّف للدالة، مثل محاولة الحصول على جذر تربيعي لعدد سالب، وإذا حصل هذا الخطأ يُضبط `errno` إلى الثابت `EDOM`، وتُعيد الدالة قيمة معرّفة بحسب التطبيق.

نحصل على **خطأ مجال range error** إذا لم يكن من الممكن تمثيل نتيجة الدالة بقيمة عدد عشري مضاعف الدقة، تُعيد الدالة القيمة `±HUGE_VAL` إذا كانت قيمة النتيجة كبيرة جدًا (الإشارة موافقة للقيمة) وتُضبط `errno` إلى `ERANGE` إذا كانت القيمة صغيرة جدًا وتُعاد القيمة `0.0` وتُعتمد قيمة `errno` على تعريف التطبيق.

تصف اللائحة التالية كلًا من الدوال المتاحة باختصار:

- الدالة `double acos(double x);`: تُعيد القيمة الرئيسة Principal value لقوس جيب التمام Arc cosine للوسيط `x` في النطاق من 0 إلى π راديان، ونحصل على الخطأ `EDOM` إذا كان `x` خارج النطاق 1- إلى 1.
- الدالة `double asin(double x);`: تُعيد القيمة الرئيسة لقوس الجيب Arc sin للوسيط `x` في النطاق من π/2- إلى π/2+ راديان، ونحصل على الخطأ `EDOM` إذا كان `x`خارج النطاق 1- إلى 1.
- الدالة `double atan(double x);`: تُعيد القيمة الرئيسة لقوس الظل Arc tan للوسيط `x` في النطاق من π/2- إلى π/2+ راديان.
- الدالة `double atan2(double y, double x);`: تُعيد القيمة الرئيسة لقوس الظل للقيمة y/x في النطاق من π- إلى π+ راديان، وتستخدم إشارتي الوسيطين `x` و `y` لتحديد الربع الذي تقع فيه قيمة الإجابة، ونحصل على الخطأ `EDOM` في حال كان `x` و `y` مساويين إلى الصفر.
- الدالة `double cos(double x);`: تُعيد جيب تمام قيمة الوسيط `x` (تُقاس x بالراديان).
- الدالة `double sin(double x);`: تُعيد جيب قيمة الوسيط `x` (تُقاس x بالراديان).

- الدالة `double tan(double x);`: تُعيد ظل قيمة الوسيط `x` (تُقاس x بالراديان)، وتكون إشارة `HUGE_VAL` غير مضمونة الصحّة إذا حدث خطأ مجال.
- الدالة `double cosh(double x);`: تُعيد جيب التمام القطعي Hyperbolic للقيمة `x`، ونحصل على الخطأ `ERANGE` إذا كان مقدار `x` كبيرًا جدًا.
- الدالة `double sinh(double x);`: تُعيد الجيب القطعي للقيمة `x`، ونحصل على الخطأ `ERANGE` إذا كان مقدار `x` كبيرًا للغاية.
- الدالة `double tanh(double x);`: تُعيد الظل القطعي للقيمة `x`.
- الدالة `double exp(double x);`: دالة أسية للقيمة `x`، ونحصل على الخطأ `ERANGE` إذا كان مقدار `x`كبيرًا جدًا.
- الدالة `double frexp(double value, int *exp);`: تجزئة عدد ذو فاصلة عائمة إلى كسر طبيعي وأُس عدد صحيح من الأساس 2، ويخزن هذا العدد الصحيح في الغرض المُشار إليه بواسطة المؤشر `exp`.
- الدالة `double ldexp(double x, int exp);`: ضرب `x` بمقدار 2 إلى الأُس `exp`، وقد نحصل على الخطأ `ERANGE`.
- الدالة `double log(double x);`: اللوغاريتم الطبيعي للقيمة `x`، وقد نحصل على الخطأ `EDOM` إذا كانت القيمة `x` سالبة، و `ERANGE` إذا كانت `x` تساوي إلى الصفر.
- الدالة `double log10(double x);`: اللوغاريتم ذو الأساس 10 للقيمة `x`، ونحصل على الخطأ `EDOM` إذا كانت `x` سالبة، و `ERANGE` إذا كانت `x` تساوي إلى الصفر.
- الدالة `double modf(double value, double *iptr);`: تجزئة قيمة الوسيط `value` إلى جزء عدد صحيح وجزء كسري، ويحمل كل جزء إشارة الوسيط ذاتها، وتُخزن قيمة العدد الصحيح على أنها قيمة من نوع `double` في الكائن المُشار إليه بواسطة المؤشر `iptr` وتُعيد الدالة الجزء الكسري.
- الدالة `double pow(double x, double y);`: تحسب x إلى الأس y، ونحصل على الخطأ `EDOM` إذا كانت القيمة `x` سالبة و `y` عدد غير صحيح، أو `ERANGE` إذا لم يكن من الممكن تمثيل النتيجة في حال كانت `x` تساوي إلى الصفر و `y` موجبة أو تساوي الصفر.
- الدالة `double sqrt(double x);`: تحسب مربع القيمة `x`، ونحصل على الخطأ `EDOM` إذا كانت `x` سالبة.
- الدالة `double ceil(double x);`: أصغر عدد صحيح لا يكون أصغر من `x`.

- الدالة `double fabs(double x);`: القيمة المطلقة للوسيط `x`.
- الدالة `double floor(double x);`: أكبر عدد صحيح لا يكون أكبر من `x`.
- الدالة `double fmod(double x, double y);`: الباقي العشري من عملية القسمة x/y، ويعتمد الأمر على تعريف التطبيق فيما إذا كانت `fmod` تُعيد صفرًا أو خطأ نطاق في حال كانت `y` تساوي إلى الصفر.

## 9.7 القفزات اللامحلية Non-local jumps

تقدم القفزات اللا محلية non-local jumps طريقةً مشابهة لطريقة `goto` بالانتقال من دالة إلى أخرى. نلجأ إلى استخدام الماكرو `setjmp` والدالة `longjmp` لأن الأمر غير ممكن الحدوث باستخدام `goto` والعناوين labels إذ أن للعناوين نطاق scope داخل الدالة فقط، وتُعرف هذه الطريقة باسم goto اللامحلية أو القفزة اللامحلية.

يصرح ملف الترويسة `<setjmp.h>` شيئًا يدعى `jmp_buf`، وهو اسم مستخدم في الماكرو والدالة لتخزين المعلومات الضرورية لإجراء القفزة، وتُكتب التصاريح على النحو التالي:

```
#include <setjmp.h>

int setjmp(jmp_buf env);
void longjmp(jmp_buf env, int val);
```

يُستخدم الماكرو `setjmp` لتهيئة قيمة `jmp_buf` ويُعيد القيمة صفر عند استدعائه الأولي، إلا أن الأمر غير الاعتيادي هنا، هو أنه يُعيد **مجددًا** قيمة غير صفرية لاحقًا عند استدعاء الدالة `longjmp`، وتكون القيمة غير الصفرية هذه مساويةً للقيمة المُمرّرة للدالة `longjmp`. لعل الأمر سيتضح لك بوضوح بعد المثال التالي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <setjmp.h>

void func(void);
jmp_buf place;

main(){
        int retval;

        /*
```

```
    يُعيد الاستدعاء الأول القيمة 0، ويعيد استدعاء آخر للدالة longjmp قيمة غير صفرية
           */
          if(setjmp(place) != 0){
                  printf("Returned using longjmp\n");
                  exit(EXIT_SUCCESS);
          }

          /*
    لن يُعيد الاستدعاء التالي أي قيمة لأنه يقفز مجددًا إلى الأعلى
           */
          func();
          printf("What! func returned!\n");
}

void
func(void){
        /*
   4 العودة إلى main، ويبدو أن الاستدعاء الثاني لدالة setjmp يعيد القيمة
         */
        longjmp(place, 4);
        printf("What! longjmp returned!\n");
}
```

[مثال 3]

يمثل وسيط الدالة `longjmp` المسمى `val` القيمة المُعادة من الاستدعاء الثاني اللاحق لتعليمة الإعادة `return` ضمن الدالة `setjmp`، ويجب أن تكون هذه القيمة قيمة غير صفرية عادةً، وستغيّر القيمة إلى 1 إذا حاولت إعادة القيمة صفر باستخدام `longjmp`، وبذلك يمكننا معرفة فيما إذا كان استدعاء الدالة `setjmp` مباشرةً أو عن طريق استدعاء الدالة `longjmp`.

تأثير الدالة `setjmp` غير محدد إذا لم يكن هناك أي استدعاء لها قبل استدعاء `longjmp`، وسيتسبب ذلك غالبًا بتوقف البرنامج. لا يُتوقّع من الدالة `longjmp` أن تُعيد قيمة بعد استدعائها مباشرةً. يكون لجميع الكائنات الممكن الوصول إليها من تعليمة الإعادة `return` داخل الدالة `setjmp` القيم السابقة المخزنة عند استدعاء `longjmp` عدا الكائنات ذات صنف التخزين التلقائي automatic storage class التي لا تحتوي على نوع "volatile"، وتكون قيمها غير محددة إذا تغيرت هذه الكائنات بين استدعاء `setjmp` واستدعاء `longjmp`.

تُنفّذ الدالة longjmp على نحوٍ صحيح بخصوص المقاطعات interrupts والإشارات وأي دوال أخرى مرتبطة، ونحصل على سلوك غير معرف إذا حصل استدعاء longjmp باستخدام دالة نتج استدعائها عن إشارة وصلت بينما تُعالج إشارة أخرى.

يُعدّ القفز إلى دالة غير فعالة باستخدام longjmp خطئًا فادحًا (ويُقصد بدالة غير فعالة أنها أعادت قيمة للتو، أو أن استدعاء longjmp آخر تحوّل إلى setjmp ضمن مجموعة من الاستدعاءات المترابطة nested calls).

يصرّ المعيار على أن setjmp يجب أن تستخدم فقط مثل تعبير للتحكم في تعليمات if و switch و do و while و for (إضافةً إلى كونها التعليمة الوحيدة الموجودة في تعليمة تعبير)، وامتدادًا لهذه القاعدة، يمكن لاستدعاء setjmp (طالما يشكّل تعبير التحكم بأكمله كما ذكرنا سابقًا) أن يخضع للعامل !، أو أن يُقارن مباشرةً مع تعبير ثابت ذي قيمة عدد صحيح باستخدام إحدى العوامل العلاقيّة أو عوامل المساواة، ولا يجب استخدام أي تعابير معقدة أكثر من ذلك. إليك الأمثلة التالية:

```
setjmp(place);                  /* تعليمة تعبير */
if(setjmp(place)) ...           /* تعبير تحكم كامل */
if(!setjmp(place)) ...          /* تعبير تحكم كامل */
if(setjmp(place) < 4) ...       /* تعبير تحكم كامل */
if(setjmp(place)<;4 && 1!=2) ...  /* ممنوع */
```

## 9.8 التعامل مع الإشارة

تقدّم لنا دالتان إمكانية التعامل مع الأحداث غير المتزامنة؛ وتُعرف الإشارة signal بأنها شرط قد يحدث خلال تنفيذ البرنامج ويمكن تجاهله أو التعامل معه بصورةٍ خاصة أو استخدامه لإنهاء البرنامج كما هي الحالة الاعتيادية. تُرسل إحدى الدوال الإشارة بينما تُستخدم الأخرى لتحديد كيفية معالجة الإشارة، وقد تولّد الكثير من الإشارات من العتاد الصلب أو نظام التشغيل إضافةً إلى دوال إرسال الإشارات raise.

الإشارات المُعرّفة في ملف الترويسة <signal.h>، هي:

- الإشارة SIGABRT: إنهاء غير اعتيادي للبرنامج، مثل الإنهاء الحاصل باستخدام الدالة abort (إبطال).
- الإشارة SIGFPE: عملية حسابية خاطئة، مثل التقسيم على الصفر أو الطفحان overflow (استثناء الفاصلة والأرقام العشرية Floating point exception).
- الإشارة SIGILL: العثور على "كائن برنامج غير صالح"، وهذا يعني غالبًا أن هناك تعليمات غير صالحة في البرنامج. (تعليمة غير صالحة Illegal instruction).

- الإشارة SIGINT: إشارة تفاعلية للفت الانتباه، وتولد هـذه الإشـارة على الأنظمـة التفاعليـة عـادةً بكتابـة مفتاح الهروب break-in في الطرفية terminal (مقاطعة Interrupt).
- الإشارة SIGSEGV: محاولة غير صالحة للوصول إلى مساحة تخزين، وتُسبب غالبًا بمحاولة تخـزين قيمـة في كائن مُشار إليه بمؤشر خاطئ. (انتهاك جزء segment violation).
- الإشارة SIGTERM: طلب إنهاء للبرنامج. (إنهاء Terminate).

قد تمتلك بعض التنفيذات implementations بعض الإشارات الإضـافية الزائـدة عن الإشـارات السـابقة المعرفة في المعيار، وستبدأ أسماء الإشارات بالأحرف SIG وستمتلك قيمًا مميزة مختلفة عن القيم السابقة.

تسمح لك الدالة signal بتحديد الفعل الذي تريـد اتخـاذه عنـد تلقي إشـارة، وتُصـطحب بحالـة إشـارة من الإشارات المذكورة سابقًا ومؤشر يشير إلى دالة تُنفّذ للتعامل مع الإشارة، وذلـك بتغيـير المؤشـر وإعـادة القيمـة الأصلية، إذًا، نعرف الدالة كما يلي:

```
#include <signal.h>
void (*signal (int sig, void (*func)(int)))(int);
```

يدل ما سبق على أن الدالة signal تُعيد مؤشرًا يشير إلى دالة أخرى وتأخذ الدالة الثانية وسـيطًا واحـدًا من نوع عدد صحيح وتُعيد void؛ بينما يكـون الوسـيط الثـاني للدالـة signal مؤشـرًا يشـير إلى دالـة تعيـد void بصورةٍ مشابهة، وتأخذ int وسيطًا لها.

يمكن استخدام قيمتين مميزتين لوسيط لدالة func (دالة التعامل مع الإشـارة)، ألا وهمـا SIG_DFL وهي معـالج الإشـارة الافتراضـي الأولي و SIG_IGN الـذي يُسـتخدم لتجاهـل الإشـارة، ويضـبط التنفيـذ حالـة جميـع الإشارات إلى واحدة من هذه القيمتين في بداية البرنامج.

تُعاد قيمـة func السـابقة للإشـارة إذ اسـتدعيت signal بنجـاح، وإلا فتُعـاد SIG_ERR ويُضـبط errno إلى قيمة.

عند حصول حدث إشارة غير مُتجاهل، يُنفّذ أول signal(sig, SIG_DFL) يطابق الحالة وذلك إذا كانت الدالة func المترافقة تمثّل مؤشرًا يشير إلى دالـة، وتتسـبب تلـك العمليـة بإعـادة تشـغيل معـالج الإشـارة إلى الإجراء الافتراضي ألا وهو إنهاء البرنامج، وإذا كانت الإشارة هي SIGILL فسيكون إعادة التشغيل معرفًـا حسـب التنفيذ، إذ قد تختار بعض التنفيذات حجب أي حالات أخرى من الإشارة عوضًا عن إعادة التشغيل.

بعد ذلك، يُجرى استدعاء لدالة معالجة الإشارة، وسيعاود البرنامج عمله من نقطة حصول الحـدث في معظم الحالات وذلك إذا أعادت الدالة قيمة بنجاح، إلا أننا نحصل على سلوك غير معرف إذا كـانت قيمـة sig مسـاويةً إلى SIGFPE (استثناء الفاصلة العائمة) أو أي استثناء حسابي معرف بحسب التنفيـذ، والحـل الأكـثر اسـتخدامًا لمعالج SIGFPE هو استدعاء إحدى الدوال: abort، أو exit، أو longjmp.

يستعرض الجزء التالي استخدام الإشارة لتحقيق خروج أنيق من البرنامج عند تلقي مقاطعة أو إشارة "الانتباه التفاعلي interactive attention".

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <signal.h>


FILE *temp_file;
void leave(int sig);

main() {
        (void) signal(SIGINT,leave);
        temp_file = fopen("tmp","w");
        for(;;) {
                /*
                 افعل بعض الأشياء هنا
                 */
                printf("Ready...\n");
                (void)getchar();
        }
        /* لا يمكننا الوصول إلى هذه النقطة */
        exit(EXIT_SUCCESS);
}

/*
أغلق الملف tmp عند الحصول على SIGINT، لكن انتبه
لأن استدعاء دوال المكتبات من معالج الإشارة غير مضمون العمل في جميع التنفيذات
وهذا ليس ببرنامج متجاوب مع جميع التنفيذات بالضرورة
 */

void
leave(int sig) {
        fprintf(temp_file,"\nInterrupted..\n");
        fclose(temp_file);
        exit(sig);
}
```

[مثال 4]

من الممكن للبرنامج أن يرسل إشارات إلى نفسه باستخدام دالة `raise` وهذا معرّف على النحو التالي:

```
include <signal.h>
int raise (int sig);
```

تُرسل الإشارة `sig` في هذه الحالة إلى البرنامج.

تُعيد التعليمة `raise` القيمة صفر في حال النجاح، وقيمة غير صفرية عدا ذلك، تُنفّذ دالة `abort` على النحو التالي:

```
#include <signal.h>

void
abort(void) {
  raise(SIGABRT);
}
```

إذا حصلنا على إشارة لأي سبب كان -باستثناء استدعاء `abort` أو `raise`- فمن الممكن للدالة أن تستدعي فقط الإشارة أو أن تُسند قيمةً إلى كائن ساكن static متطاير volatile (مؤهل باستخدام `volatile`) من النوع `sig_atomic_t`، وهذا النوع مصرّحٌ في ملف الترويسة `<signal.h>`، وهو النوع الوحيد من الكائنات الممكن تعديله بأمان مثل كيان ذري atomic entity حتى مع وجود المقاطعات اللا متزامنة، وهذا قيدٌ مرهق مفروض من المعيار، الذي على سبيل المثال، يُبطل الدالة `leave` في مثالنا أعلاه، وعلى الرغم من أن الدالة ستعمل بصورةٍ صحيحة في بعض البيئات إلى أنها لا تتبع القوانين الصارمة الخاصة بالمعيار.

## 9.9 أعداد متغيرة من الوسطاء

غالبًا ما يكون تنفيذ دالة تأخذ عددًا غير معروفًا أو غير ثابت من الوسطاء محبّذًا عند كتابة الدالة، نذكر دالة `printf` على سبيل المثال التي سنتكلم عنها لاحقًا. يوضح المثال التالي تصريح دالة مشابهة.

```
int f(int, ... );

int f(int, ... ) {
        .
        .
        .
}
```

```
int g() {
        f(1,2,3);
}
```

[مثال 5]

علينا تضمين الدوال المصرح عنها ضمن ملف الترويسة <stdarg.h> لكي نستطيع الوصول إلى الوسطاء الموجودة بداخل الدالة المُستدعاة، ونحصل نتيجةً لذلك على نوع جديد يدعى va_list وثلاثة دوال تتعامل مع كائنات من هذا النوع وتدعى va_start و va_arg و va_end.

علينا استدعاء va_start قبل محاولة الوصول إلى لائحة الوسطاء المتغيرة، وهي معرفة على النحو التالي:

```
#include <stdarg.h>
void va_start(va_list ap, parmN);
```

يُهيّئ الماكرو va_start الوسيط ap بهدف الاستخدام اللاحق من قبل الدالتين va_arg و va_end، بينما يكون الوسيط الثاني للدالة va_start المسمّى parmN المعرّف identifier الذي يسمّي المعامل الذي يقع أقصى اليمين في لائحة المعاملات المتغيرة (أي المعامل الذي يقع قبل "...")، ولا يجب التصريح عن المعرف parmN باستخدام صنف التخزين storage class من النوع register أو على أنه دالة أو نوع مصفوفة.

يمكن الوصول إلى الوسطاء على نحوٍ تتابعي بعد التهيئة وذلك باستخدام الماكرو va_arg، وهذا غير مألوف لأن النوع المُعاد يحدّد باستخدام وسيط للماكرو. لاحظ أن ذلك مستحيل التنفيذ في دالة فعلية، ويمكن تنفيذه فقط باستخدام الماكرو، وهو معرّف على النحو التالي:

```
#include <stdarg.h>
type va_arg(va_list ap, type);
```

سيتسبب كل استدعاء للماكرو السابق بالحصول على الوسيط التالي من لائحة الوسطاء بقيمة من النوع المُحدّد، ويجب للوسيط va_list أن يُهيّأ باستخدام va_start، ونحصل على سلوك غير معرّف إذا لم يكن الوسيط التالي من النوع المُحدّد. احذر من المشاكل التي قد تنتج من التحويلات الحسابية وتفاداها، إذ أن استخدام النوع char أو عدد صغير short وسيطًا ثانيًا للدالة va_arg خطأٌ واضح؛ لأن هذه الأنواع تُرقّى دائمًا إلى signed int أو unsigned int ويُحوّل float إلى double.

لاحظ أن ترقية الكائنات المصرّحة عنها من الأنواع char و unsigned char و unsigned short وحقول البت عديمة الإشارة unsigned bitfields إلى النوع unsigned int الذي سيعقّد أكثر استخدام

الدالة va_arg هو معرّف بحسب التنفيذ، وقد يكون ذلك هو السبب في الحصول على بعض المشاكل الخفية غير المتوقعة.

نحصل على سلوك غير معرف أيضًا إذا استُدعيت الدالة va_arg ولم يكن هناك مزيدًا من الوسطاء.

يجب أن يكون الوسيط type -في تعريفنا السابق لدالة va_arg- ممثلًا لاسم نوع يمكن تحويله إلى مؤشر يشير إلى كائن بإضافة المحرف * ببساطة (حتى يعمل الماكرو)، وذلك محقق للأنواع البسيطة مثل char (لأن char * يمثّل نوع مؤشر يشير إلى محرف)، لكن لن تعمل مصفوفة المحارف (لا يتحول النوع char [] إلى مؤشر يشير إلى مصفوفة محارف بإضافة * إليه). يمكن لحسن الحظ معالجة المصفوفات إذا ما تذكرنا أن اسم المصفوفة الذي يُستخدم وسيطًا فعليًا لاستدعاء الدالة يُحوّل إلى مؤشر، وبذلك فإن النوع الصحيح لوسيط من النوع "مصفوفة من المحارف" هو char *.

تُستدعى الدالة va_end بعد معالجة جميع الوسطاء، وهذا سيمنع اللائحة va_list من أن تُستخدم بعد ذلك، ونحصل على سلوك غير معرف إذا لم تُستخدم الدالة va_end.

يمكن إعادة قراءة كامل لائحة الوسطاء باستدعاء الدالة va_start مجددًا بعد استدعاء va_end، وتُصرّح الدالة va_end كما يلي:

```
#include <stdarg.h>
void va_end(va list ap);
```

يوضح المثال التالي كيفية استخدام كل من va_start و va_arg و va_end ضمن دالة تُعيد أكبر قيم وسطائها التي تكون من نوع عدد صحيح.

```
#include <stdlib.h>
#include <stdarg.h>
#include <stdio.h>

int maxof(int, ...) ;
void f(void);

main(){
        f();
        exit(EXIT_SUCCESS);
}

int maxof(int n_args, ...){
        register int i;
```

```
        int max, a;
        va_list ap;

        va_start(ap, n_args);
        max = va_arg(ap, int);
        for(i = 2; i <= n_args; i++) {
                if((a = va_arg(ap, int)) > max)
                        max = a;
        }

        va_end(ap);
        return max;
}

void f(void) {
        int i = 5;
        int j[256];
        j[42] = 24;
        printf("%d\n",maxof(3, i, j[42], 0));
}
```

[مثال 6]

## 9.10 الدخل والخرج I/O

### 9.10.1 مقدمة

يعدّ افتقار لغات البرمجة لدعمها للـدخل والخـرج إحـدى أبـرز الأسـباب الـتي منعت التبـني واسـع النطـاق واستخدامها في البرمجة العملية، وهو الموضوع الذي لم يـرد أي مصـمّم لغـة أن يتعامـل معـه، إلا أن لغـة سـي تفادت هذه المشكلة، بعدم تضمينها لأي دعم للدخل والخرج، إذ كان سلوك سي هو أن تترك التعامل مع الدخل والخرج لدوال المكتبات، مما عنى أنه بالإمكان لمصمّمي الأنظمة استخدام طرق دخل وخرج مخصصـة بـدلًا من إجبارهم على تغيير اللغة بذات نفسها.

تطوّرت حزمة مكتبات عُرفت باسم "مكتبة الدخل والخرج القياسي Standard I/O Library" -أو اختصارًا stdio- في الوقت ذاته الذي كانت لغة سي تتطوّر، وقد أثبتت هذه المكتبة مرونتها وقابلية نقلها وأصبحت الآن جزءًا من المعيار.

اعتمدت حزمة الـدخل والخـرج القياسـي القديمـة كثـيرًا على نظـام يـونيكس UNIX للوصـول إلى الملفـات وبالأخص الافتراض أنه لا يوجد أي فرق بين ملفات ثنائية غير مُهيكلة وملفات أخرى تحتوي على نص مقـروء، إلا أن العديد من أنظمة التشغيل تفصل ما بين الاثنين وعُدّلت الحزمة فيما بعد لضمان قابلية نقل برامج لغـة سـي بين نوعَي نظام الملفات. هناك بعض التغييرات في هذا المجال التي تتسبب بالضرر لكثيرٍ من البرامج المكتوبة مسبقًا على الرغم من الجهود التي تحاول أن تحدّ من هذا الضرر.

من المفترض أن تعمل برامج لغة سي القديمة بنجاح دون تعديل في بيئة يونيكس.

## 9.10.2 نموذج الدخل والخرج

لا يُميّز نموذج الدخل والخرج بين أنواع الأجهزة المادية التي تدعم الـدخل والخـرج، إذ يُعامـل كـل مصـدر أو حوض من البيانات بالطريقة ذاتها ويُنظر إليه على أنـه مجـرًى من البايتـات stream of bytes. بمـا أن الكـائن الأصغر الذي يمكن تمثيله في لغة سي هو المحرف، فالوصول إلى الملف مسموحٌ باسـتخدام حـدود أي محـرف، وبالتـالي يمكن قـراءة أو كتابـة أي عـدد من المحـارف انطلاقًـا من نقطـة متحركـة تُعـرف باسـم مؤشـر الموضـع position indicator، وتُكتب أو تُقرأ المحارف تباعًا بدءًا من هذه النقطـة ويُحـرّك مؤشـر الموضـع خلال ذلـك. يُضبط مؤشر الموضع مبدئيًا إلى بدايـة الملـف عنـد فتحـه، لكن من الممكن تحريكـه باسـتخدام طلبـات تحديـد الموقع، ويُتجاهل مؤشر موضع الملف في حال كان الوصول العشوائي إلى الملف غـير ممكن. لفتح الملـف في نمط الإضافة append تأثيرات على مجرى موضع المؤشر في الملف معرفة بحسب التنفيذ.

الفكرة العامة هي تقديم إمكانية القراءة أو الكتابة بصورةٍ تتابعية، باستثناء حالة فتح المجرى باستخدام نمـط الإضافة، أو إذا حُرّك مؤشر موضع الملف مباشرةً.

هناك نوعان من أنواع الملفات، هما: **الملفات النصية text files** و**الملفات الثنائية binary files** التي يمكن التعامـل معهـا داخـل البرنـامج على أنهـا **مجـاري نصـية text streams** أو **مجـاري ثنائيـة binary streams** بعد فتحها لعمليات الإدخال والإخراج. لا تسمح حزمة stdio بالعمليات على محتوى الملـف مباشـرةً، بل بالتعديل على المجرى الذي يحتوي على بيانات الملف.

### ا. المجاري النصية

يحدّد المعيار المجرى النصي text stream، الذي يمثّل ملفًا يحتوي على أسطر نصية ويتـألف السـطر من صفر محرف أو أكثر ينتهي بمحرف نهاية السطر، ومن الممكن أن يكون تمثيل الأسطر الفعلي في البيئة الخارجية مختلفًا عن تمثيله هنا، كمـا من الممكن إجـراء تحـويلات على مجـرى البيانـات عنـد دخولهـا إلى أو خروجهـا من البرنامج، وأكثر المتطلبات شيوعًا هو ترجمة المحرف الذي ينهي السطر "'\n'" إلى السلسلة "'\r\n'" عند الخـرج وإجراء عكس العملية عند الدخل، ومن الممكن تواجد بعض الترجمات الضرورية الأخرى.

يُضمن للبيانات التي تُقرأ من المجرى النصي أن تكون مسـاويةً إلى البيانـات المكتوبـة سـابقًا إلى الملـف، وذلك إذا كانت هذه البيانـات مؤلفـةً من أسـطر مكتملـة تحتـوي على محـارف يمكن طباعتهـا، وكـانت محـارف

التحكم control characters ومحارف مسافة الجدولة الأفقية horizontal-tab ومحارف الأسطر الجديدة newline فقط، ولم يُتبع أي محرف سطر جديد بمحرف مسافة فارغة space مباشرةً، وكان المحرف الأخير في المجرى هو محرف سطر جديد.

كما أن هناك ضمان بأن المحرف الأخير المكتوب إلى الملف النصي هو محرف سطر جديد، ومن الممكن قراءة الملف مجددًا بمحتوياته المماثلة التي كُتبت إليه سابقًا.

إلحاق المحرف الأخير المكتوب إلى الملف بمحرف سطر جديد معرفٌ بحسب التنفيذ، وذلك لأن الملفات النصية والملفات الثنائية تُعامل نفس المعاملة في بعض التنفيذات.

قد تُجرّد بعض التنفيذات المسافة الفارغة البادئة من الأسطر التي تتألف من مسافات فارغة فقط متبوعةً بسطر جديد، أو تُجرّد المسافة الفارغة في نهاية السطر.

يجب أن يدعم التنفيذ الملفات النصية التي تحتوي سطورها على 254 محرفًا على الأقل، ويتضمن ذلك محرف السطر الجديد الذي يُنهي السطر.

قد نحصل على مجرى ثنائي عند فتح مجرى نصي بنمط التحديث update mode في بعض التنفيذات.

قد تتسبب الكتابة على مجرًى نصي باقتطاع الملف عند نقطة الكتابة في بعض التنفيذات، أي ستُهمل جميع البيانات التي تتبع البايت الأخير المكتوب.

### ب. المجاري الثنائية

يمثل المجرى الثنائي سلسلةً من المحارف التي يمكن استخدامها لتسجيل البيانات الداخلية لبرنامج ما، مثل محتويات الهياكل structures، أو المصفوفات وذلك بالشكل الثنائي، إذ تكون البيانات المقروءة من المجاري الثنائية مساويةً للبيانات المكتوبة إلى المجرى ذاته سابقًا ضمن نفس التنفيذ، وقد يُضاف عددٌ من المحارف الفارغة "NULL" في بعض الظروف إلى نهاية المجرى الثنائي، ويكون عدد المحارف معرفًا بحسب التنفيذ.

تعتمد بيانات الملفات الثنائية على الآلة التي تعمل عليها لأبعد حد، وهي غير قابلة للنقل عمومًا.

### ج. المجاري الأخرى

قد تتوفر بعض أنواع المجاري الأخرى، إلا أنها معرفة بحسب التنفيذ.

## 9.10.3 ملف الترويسة `<stdio.h>`

هناك عدد من الدوال والماكرو الموجودة لتقديم الدعم لمختلف أنواع المجاري، ويحتوي ملف الترويسة `<stdio.h>` العديد من التصريحات المهمة لهذه الدوال، إضافةً إلى الماكرو التالية وتصاريح الأنواع:

- النوع `FILE`: نوع الكائن المُستخدم لاحتواء معلومات التحكم بـالمجرى، ولا يحتـاج مسـتخدمو مكتبـة "stdio" لمعرفة محتويات هذه الكائنات، إذ يكفي التعامل مع المؤشرات التي تشير إليهم. لا يُعـد نسـخ الكائنات هذه ضمن البرنامج آمنًا، إذ أن عناوينهم قد تكون في بعض الأحيان معقدة.
- النوع `fpos_t`: نوع الكائن الذي يُستخدم لتسجيل القيم الفريدة من نوعها التي تنتمي إلى مجرى مؤشر موضع الملف.
- القيم `_IOFBF` و `_IOLBF` و `_IONBF`: وهب قيم تُسـتخدم للتحكم بـالتخزين المـؤقت buffering للمجرى بالاستعانة بالدالة `setvbuf`.
- القيمة `BUFSIZ`: حجم التخزين المؤقت المُسـتخدم بواسـطة الدالـة `setbuf`، وهـو تعبـيرٌ رقم صـحيح integral ثابت constant تكون قيمته 256 على الأقل.
- القيمة `EOF`: تعبير رقم صحيح سـالب ثـابت يحـدد نهايـة الملـف end-of-file ضـمن مجـرى، أي عنـد الوصول إلى نهاية الدخل.
- القيمة `FILENAME_MAX`: الطول الأعظمي الـذي يمكن لاسـم ملـف أن يكـون إذا كـان هنـاك قيـد على ذلك، وإلا فهو الحجم الذي يُنصح به لمصفوفة تحمل اسم ملف.
- القيمة `FOPEN_MAX`: العدد الأدنى من الملفات التي يضمن التنفيذ فتحهـا في وقت آني، وهـو ثمانيـة ملفات. لاحظ أنه من الممكن إغلاق ثلاث مجاري مُعرفة مسبقًا إذا احتاج البرنامج فتح أكـثر من خمسـة ملفات مباشرةً.
- القيمة `L_tmpnam`: الطول الأعظمي المضمون لسلسـلة نصـية في `tmpnam`، وهـو تعبـير رقم صـحيح ثابت.
- القيم `SEEK_CUR` و `SEEK_END` و `SEEK_SET`: تعـابير رقم صـحيح ثابتـة تُسـتخدم للتحكم بأفعـال `fseek`.
- القيمة `TMP_MAX`: العدد الأدنى من أسماء الملفات الفريدة من نوعها المولـدة من قبـل `tmpnam`، وهـو تعبير رقم صحيح ثابت بقيمة لا تقل عن 25.
- الكائنات `stdin` و `stdout` و `stderr`: وهي كائنات معرفة مسـبقًا من النـوع " FILE" وتشـير إلى مجرى الدخل القياسي ومجرى الخرج القياسي ومجرى الخطأ بالترتيب، وتُفتح هذه المجاري تلقائيًا عنـد بداية تنفيذ البرنامج.

### 9.10.4 العمليات على المجاري

بعد أن تعرفنا على أنواع المجاري وطبيعتها والقيم المرتبطة بها، نستعرض الآن العمليات الأساسية عليها ألا وهي فتح المجرى وإغلاقه، إضافةً إلى التخزين المؤقت.

#### ا. فتح المجرى

يتصل المجرى بالملف عن طريق دالة `fopen`، أو `freopen`، أو `tmpfile`، إذ تعيد هذه الدوال -إذا كان استدعاؤها ناجحًا- مؤشرًا يشير إلى كائن من نوع `FILE`.

هناك ثلاث أنواع من المجاري المتاحة افتراضيًا دون أي جهد إضافي مطلوب منك، وتتصل هذه المجاري عادةً بالجهاز المادي المُرتبط بالبرنامج المُنفّذ ألا وهو الطرفية Terminal عادةً، ويشار إلى هذه المجاري بالأسماء:

- `stdin`: وهو مجرى **الدخل القياسي standard input**.
- `stdout`: وهو مجرى **الخرج القياسي standard output**.
- `stderr`: وهو مجرى **الخطأ القياسي standard error**.

ويكون دخل لوحة المفاتيح في الحالة الطبيعية من المجرى `stdin` وخرج الطرفية هو `stdout`، بينما تُوجّه رسائل الأخطاء إلى المجرى `stderr`. الهدف من فصل رسائل الأخطاء عن رسائل الخرج العادية هو السماح بربط مجرى `stdout` إلى شيءٍ آخر مغاير لجهاز للطرفية مثل ملف ما والحصول على رسائل الخطأ بنفس الوقت على الشاشة أمامك عوضًا عن توجيه الأخطاء إلى الملف، وتخزّن كامل الملفات مؤقتًا إذا لم توجّه إلى أجهزة تفاعلية.

كما ذكرنا سابقًا، قد يكون مؤشر موضع الملف قابلًا للتحريك أو غير قابل للتحريك بحسب الجهاز المُستخدم، إذ يكون مؤشر موضع الملف غير قابل للتحريك ضمن مجرى `stdin` على سبيل المثال إذا كان متصلًا إلى الطرفية (الحالة الاعتيادية له).

جميع الملفات غير المؤقتة تمتلك اسمًا filename وهو سلسلةٌ نصية، والقوانين التي تحدد اسم الملف الصالح معرفةٌ حسب التنفيذ، وينطبق الأمر ذاته على إمكانية فتح الملف لعدة مرات بصورةٍ آنية. قد يتسبب فتح ملف جديد بإنشاء هذا الملف، وتتسبب إعادة إنشاء ملف موجود مسبقًا بإهمال محتوياته السابقة.

#### ب. إغلاق المجرى

تُغلق المجاري عند استدعاء `fclose` أو `exit` بصورةٍ صريحة، أو عندما يعود البرنامج إلى الدالة `main`، وتُمسح جميع البيانات المخزنة مؤقتًا عند إغلاق المجرى. تصبح حالة الملفات المفتوحة غير معروفة إذا توقف البرنامج لسببٍ ما دون استخدام الطرق السابقة لإغلاقه.

### ج. التخزين المؤقت للمجرى

هناك ثلاث أنواع للتخزين المؤقت:

1. دون تخزين مؤقت unbuffered: تُستخدم مساحة التخزين بأقل ما يمكن من قبل `stdio` بهدف إرسال أو تلقي البيانات أسرع ما يمكن.
2. تخزين مؤقت خطي line buffered: تُعالج المحارف سطرًا تلو سطر، ويُستخدم هذا النوع من التخزين المؤقت كثيرًا في البيئات التفاعلية، وتُمسح محتويات الذواكر المؤقتة الداخلية internal buffers فقط عندما تمتلئ أو عندما يُعالج سطر جديد.
3. التخزين المؤقت الكامل fully buffered: تُسمح الذواكر المؤقتة الداخلية فقط عندما تمتلئ.

يُمكن مسح محتوى الذاكرة الداخلية المرتبطة بمجرى ما عن طريق استخدام `fflush` مباشرةً. يُعرَّف الدعم لأنواع التخزين المؤقت المختلفة بحسب التنفيذ، ويمكن التحكم به ضمن الحدود المعرفة باستخدام `setbuf` و `setvbuf`.

### د. التلاعب بمحتويات الملف مباشرة

هناك عدة دوال تسمح لنا بالتعامل مع الملف مباشرةً.

```c
#include <stdio.h>

int remove(const char *filename);
int rename(const char *old, const char *new);
char *tmpnam(char *s);
FILE *tmpfile(void);
```

- الدالة `remove`: تتسبب بإزالة الملف، وستفشل محاولات فتح هذا الملف لاحقًا إلا في حال إنشاء الملف مجددًا. يكون سلوك الدالة `remove` عندما يكون الملف مفتوحًا معرفًا بحسب التنفيذ، وتعيد الدالة القيمة صفر للدلالة على النجاح، بينما تدل أي قيمة أخرى على فشل عملها.
- الدالة `rename`: تُغيّر اسم الملف المعرف بالكلمة `old` في مثالنا السابق إلى `new`، وستفشل محاولات فتح الملف باستخدام اسمه القديم، إلا إذا أنشئ ملفٌ جديد يحمل الاسم القديم ذاته، وكما هو الحال في `remove` فإن الدالة `rename` تُعيد القيمة صفر للدلالة على نجاح العملية وأي قيمة مغايرة لذلك تدل على حصول خطأ. السلوك معرف حسب التنفيذ إذا حاولنا تسمية الملف باسم جديد باستخدام `rename` وكان هناك ملف بالاسم ذاته مسبقًا. لن يُعدّل على الملف إذا فشلت الدالة `rename` لأي سببٍ كان.

- الدالة `tmpnam`: تولّد سلسلة نصية لتُستخدم اسمًا لملف، ويضمن لهذه السلسلة النصية أن تكون فريدةً من نوعها بالنسبة لأي اسم ملف آخر موجود، ويمكن أن تُستدعى بصورةٍ متتالية للحصول على اسم جديد كل مرة. يُستخدم الثابت `TMP_MAX` لتحديد عدد مرات استدعاء الدالة `tmpnam` قبل أن يتعذر عليه العثور على اسماء فريدة، وقيمته 25 على الأقل، ونحصل على سلوك غير معرّف من قبل المعيار في حال استدعاء الدالة `tmpnam` عدد مرات يتجاوز هذا الثابت إلا أن الكثير من التنفيذات تقدم حدًّا لا نهائيًا. تستخدم `tmpnam` ذاكرة مؤقتة داخلية لبناء الاسم وتُعيد مؤشرًا يشير إليه وذلك إذا ضُبط الوسيط `s` إلى القيمة `NULL`، وقد تغيّر الاستدعاءات اللاحقة للدالة الذاكرة المؤقتة الداخلية ذاتها. يمكن استخدام مؤشر يشير إلى مصفوفة مثل وسيط بدلًا من السابق، بحيث تحتوي المصفوفة على `L_tmpnam` محرف على الأقل، وفي هذه الحالة سُيملأ الاسم إلى الذاكرة المؤقتة المزوّدة (المصفوفة)، ويمكن فيما بعد إنشاء ملف بهذا الاسم واستخدامه ملفًا مؤقتًا. لن يكون اسم الملف مفيدًا ضمن سياقات أخرى غالبًا، بالنظر إلى توليده من قبل الدالة. لا تُزال الملفات المؤقتة من هذا النوع إلا إن استدعيت دالة الحذف، وغالبًا ما تُستخدم هذه الملفات لتمرير البيانات المؤقتة بين برنامجين منفصلين.
- الدالة `tmpfile`: تُنشئ ملف ثنائي مؤقت يُمكن التعديل على محتوياته، وتعيد الدالة مؤشرًا يشير إلى مجرى الملف، ويُزال هذا الملف فيما بعد عند إغلاق مجراه، وتُعيد الدالة `tmpfile` مؤشرًا فارغًا null إذا لم ينجح فتح الملف.

### 9.10.5 فتح الملفات بالاسم

يمكن فتح الملفات الموجودة بالاسم عن طريق استدعاء الدالة `fopen` المصرّح عنها على النحو التالي:

```
#include <stdio.h>
FILE *fopen(const char *pathname, const char *mode);
```

يمثل الوسيط `pathname` اسم الملف الذي تريد فتحه، مثل الاسم الذي تعيده الدالة `tmpnam` أو أي اسم ملف معين آخر.

يمكن فتح الملفات باستخدام عدة **أنماط modes**، مثل نمط **القراءة read** لقراءة البيانات، ونمط **الكتابة write** لكتابة البيانات وهكذا.

لاحظ أن الدالة `fopen` ستُنشئ ملفًا إذا أردت كتابة البيانات على ملف، أو أنها ستتخلص من محتويات الملف إذا وُجد ليصبح طوله صفر (أي أنك ستخسر محتويات الملف السابقة).

يوضح الجدول التالي جميع الأنماط الموجودة في المعيار، إلا أن التنفيذ قد يسمح بأنماط أخرى بإضافة محارف إضافية في نهاية كل من الأنماط.

الجدول 21: أنماط فتح الملف

| النمط | نوع الملف | القراءة | الكتابة | إنشاء جديد | حذف القيمة السابقة |
|---|---|---|---|---|---|
| "r" | نصي | نعم | لا | لا | لا |
| "rb" | ثنائي | نعم | لا | لا | لا |
| "r+" | نصي | نعم | نعم | لا | لا |
| "r+b" | ثنائي | نعم | نعم | لا | لا |
| "rb+" | ثنائي | نعم | نعم | لا | لا |
| "w" | نصي | لا | نعم | نعم | نعم |
| "wb" | ثنائي | لا | نعم | نعم | نعم |
| "w+" | نصي | نعم | نعم | نعم | نعم |
| "w+b" | ثنائي | نعم | نعم | نعم | نعم |
| "wb+" | ثنائي | نعم | نعم | نعم | نعم |
| "a" | نصي | لا | نعم | نعم | لا |
| "ab" | ثنائي | لا | نعم | نعم | لا |
| "a+" | نصي | نعم | نعم | نعم | لا |
| "a+b" | ثنائي | لا | نعم | نعم | لا |
| "ab+" | ثنائي | لا | نعم | نعم | لا |

انتبه من بعض التنفيذات التي تضيف إلى النمط الأخير محارف `NULL` في حالة الملفات الثنائية، إذ قد يتسبب فتح هذه الملفات بالنمط `ab` أو `ab+` أو `a+b` بوضع مؤشر الملف خارج نطاق آخر البيانات المكتوبة.

تُكتب جميع البيانات في نهاية الملف إذا فُتح باستخدام نمط الإضافة append، بغض النظر عن محاولة تغيير موضع المؤشر باستخدام الدالة `fseek`، ويكون موضع مؤشر الملف المبدئي معرف بحسب التنفيذ.

تفشل محاولات فتح الملف بنمط القراءة (النمط 'r')، إذا لم يكن الملف موجودًا أو لم يمكن قراءته.

يمكن القراءة من والكتابة إلى الملفات المفتوحة بنمط التحديث update (باستخدام `'+'` مثل المحرف الثاني أو الثالث ضمن النمط) إلا أنه من غير الممكن إلحاق القراءة بالكتابة مباشرةً أو الكتابة بالقراءة دون استدعاء بينهما لدالة واحدة (أو أكثر) من الدوال: `fflush` أو `fseek` أو `fsetpos` أو `rewind`، والاستثناء الوحيد هنا هو جواز إلحاق الكتابة مباشرةً بعد القراءة إذا قُرأ المحرف `EOF` (نهاية الملف).

من الممكن أيضًا في بعض التنفيذات أن يُتخلى عن `b` في أنماط فتح الملفات الثنائية واستخدام الأنماط ذاتها الخاصة بالملفات النصية.

تُخزّن المجاري المفتوحة باستخدام fopen تخزينًا مؤقتًا بالكامل إذا لم تكن متصلة إلى جهاز تفاعلي، ويضمن ذلك التعامل مع الأسئلة prompts والطلبات responses على النحو الصحيح.

تعيد الدالة fopen مؤشرًا فارغًا null إذا فشلت بفتح الملف، وإلا فتعيد مؤشرًا يشير إلى الكائن الذي يتحكم بالمجرى. كائنات المجاري stdin و stdout و stderr غير قابلة للتعديل بالضرورة ومن الممكن عدم وجود إمكانية استخدام القيمة المُعادة من الدالة fopen لإسنادها إلى واحدة من هذه الكائنات، بدلًا من ذلك نستخدم freopen لهذا الغرض.

### 9.10.6 الدالة freopen

تُستخدم الدالة freopne لأخذ مؤشر يشير إلى مجرى وربطه مع اسم ملف آخر، وتصرَّح الدالة على النحو التالي:

```
#include <stdio.h>
FILE *freopen(const char *pathname,
              const char *mode, FILE *stream);
```

وسيط mode مشابه لمثيله في دالة fopen. يُغلق المجرى stream أولًا ويحدث تجاهل أي أخطاء متولدة عن ذلك، ونحصل على قيمة NULL في حالة حدوث خطأ عند تنفيذ الدالة، وإلا فإننا نحصل على القيمة الجديدة للمجرى stream.

### 9.10.7 إغلاق الملفات

يمكننا إغلاق ملف مفتوح باستخدام الدالة close والمصرح عنها كما يلي:

```
#include <stdio.h>

int fclose(FILE *stream);
```

يُتخلّص من أي بيانات موجودة على الذاكرة المؤقتة لم تُكتب على الملف الخاص بالمجرى stream إضافةً إلى أي بيانات أخرى لم تُقرأ، وتُحرّر الذاكرة المؤقتة المرتبطة بالمجرى إذا رُبطت به تلقائيًا، وأخيرًا يُغلق الملف.

نحصل على القيمة صفر للدلالة على نجاح العملية، وإلا فالقيمة EOF للدلالة على الخطأ.

### 9.10.8 الدالتان setbuf و setvbuf

تُستخدم الدالتان للتعديل على استراتيجية التخزين المؤقتة لمجرى معين مفتوح، ويُصرّح عن الدالتين كما يلي:

```c
#include <stdio.h>

int setvbuf(FILE *stream, char *buf,
            int type, size_t size);
void setbuf(FILE *stream, char *buf);
```

يجب استخدام الدالتين **قبل** قراءة الملف أو الكتابة إليه، ويعرف الوسيط `type` نوع التخزين المؤقت للمجرى `stream`، ويوضح الجدول التالي أنواع التخزين المؤقت.

الجدول 22: أنواع التخزين المؤقت

| القيمة | التأثير |
|---|---|
| `_IONBF` | لا تخزّن الدخل والخرج مؤقتًا |
| `_IOFBF` | خزِّن الدخل والخرج مؤقتًا |
| `_IOLBF` | تخزين مؤقت خطي: تخلص من محتويات الذاكرة المؤقتة عندما تمتلئ، أو عند كتابة سطر جديد، أو عند طلب القراءة |

يمكن للوسيط `buf` أن يكون مؤشرًا فارغًا، وفي هذه الحالة تُنشأ مصفوفة تلقائيًا لتخزين البيانات مؤقتًا، ويمكن بخلاف ذلك للمستخدم توفير ذاكرة مؤقتة لكن يجب التأكد من استمرارية الذاكرة المؤقتة بقدر مساوٍ (أو أكثر) لاستمرارية التدفق `stream`. يُعد استخدام مساحة التخزين المحجوزة تلقائيًا ضمن تعليمة مركبة compound statement من الأخطاء الشائعة، إذ أن الحصول على المساحة التخزينية على النحو الصحيح في هذه الحالة يجري عن طريق الدالة `malloc` عوضًا عن ذلك. يُحدد حجم الذاكرة المؤقتة باستخدام الوسيط `size`.

يشابه استدعاء الدالة `setbuf` استدعاء الدالة `setvbuf` إذا استخدمنا `_IOFBF` قيمةً للوسيط `type` والقيمة `BUFSIZ` للوسيط `size`، وتُستخدم القيمة `_IONBF` للوسيط `type` إذا كان `buf` مؤشرًا فارغًا.

لا تُعاد أي قيمة بواسطة الدالة `setbuf`، بينما تُعيد الدالة `setvbuf` القيمة صفر للدلالة على نجاح الاستدعاء، وإلا فقيمة غير صفرية إذا كانت قيم `type`، أو `size` غير صالحة، أو كان الطلب غير ممكن التنفيذ.

### 9.10.9 دالة fflush

يُصرّح عن الدالة `fflush` كما يلي:

```c
#include <stdio.h>

int fflush(FILE *stream);
```

إذا أشار المجرى `stream` إلى ملف مفتوح للخرج أو بنمط التحديث، وكـان هنـاك أي بيانـات غـير مكتوبـة فإنها تُكتب خارجًا، وهذا يعني أنه لا يمكن لدالة داخل بيئة مستضـافة hosted environment، أو ضـمن لغـة سي أن تضمن -على سبيل المثال- أن البيانات تصل مباشرةً إلى سـطح قـرص يـدعم الملـف. تُهمَـل أي عمليـة `ungetc` سابقة إذا كان المجرى مرتبطًا بالملف المفتوح بهدف الخرج أو التحديث.

يجب أن تكون آخر عملية على المجرى عملية خرج، وإلا فسنحصل على سلوك غير معرّف.

يتخلص استدعاء `fflush` الذي يحتوي على وسيط قيمته صفر من جميـع مجـاري الـدخل والخـرج، ويجب هنا الانتباه إلى المجاري التي لم تكن عمليتها الأخيرة عملية خرج، أي تفادي حصول السلوك غـير المعـرّف الـذي ذكرناه سابقًا.

تُعيد الدالة القيمة `EOF` للدلالة على الخطأ، وإلا فالقيمة صفر للدلالة على النجاح.

## 9.11 الدخل والخرج المنسق Formatted I/O

هناك عدد من الدوال المُستخدمة لتنسـيق الـدخل والخـرج، وتحـدد كلًا من هـذه الـدوال التنسـيق المتبـع للدخل والخرج باستخدام **سلسلة التنسيق النصية format string**، وتتألف سلسـلة التنسـيق النصـية في حالـة الخـرج من نص عـادي plain text يمثّـل الخـرج كمـا هـو، إضـافةً إلى **مواصـفات التنسـيق format specifications** التي تتطلب معالجة خاصـة لواحـد من الوسـطاء المتبقيـة في الدالـة، بينمـا تتـألف سلسـلة التنسيق النصية في حالة الخرج من نص عادي يطـابق مجـرى الـدخل وتحـدد هنـا مواصـفات التنسـيق معـنى الوسطاء المتبقية.

يُشار إلى كل واحدة من مواصفات التنسيق باستخدام المحرف "%" متبوعًا ببقية التوصيف.

### 9.11.1 الخرج: دوال printf

تتخذ مواصفات التنسيق في دوال الخرج الشكل التالي، ونشير إلى الأجزاء الاختيارية بوضعها بين قوسين:

```
%<flags><field width><precision><length>conversion
```

نشرح معنى كل من الراية flag وعرض الحقل field width والدقة precision والطول length والتحويـل conversion أدناه، إلا أنه من الأفضل النظر إلى وصف المعيار إذا أردت وصفًا مطولًا ودقيقًا.

### 9.11.2 الرايات

يمكن ألا تأخذ الرايات أي قيمة أو أن تأخذ أحد القيم التالية:

| قيمة الراية | الشرح |
|---|---|
| - | ملئ سطر التحويل من اليسار ضمن حقوله. |
| + | يبدأ التحويل ذو الإشارة بإشارة زائد أو ناقص دائمًا. |
| مسافة فارغة space | إذا كان المحرف الأول من تحويل ذو إشارة ليس بإشارة، أضف مسافةً فارغة، ويمكن تجاوز الراية باستخدام "+" إذا وجدت. |
| | يُجبر استخدام تنسيق مختلف للخرج، مثل: الخانة الأولى لأي تحويل ثماني لها القيمة "0"، وإضافة "0x" أمام أي تحويل ست عشري لا تساوي قيمته الصفر، ويُجبِر الفاصلة العشرية في جميع تحويلات الفاصلة العائمة حتى إن لم تكن ضرورية، ولا يُزيل أي صفر لاحق من تحويلات g و G. |
| 0 | يُضيف إلى تحويلات d و i و o و u و x و X و e و E و f و F و G أصفارًا إلى يسارها بملء عرض الحقل، ويمكن تجاوزه باستخدام الراية "-"، وتُتجاهل الراية إذا كان هناك أي دقة محددة لتحويلات d، أو i، أو o، أو u، أو x، أو X، ونحصل على سلوك غير معرف للتعريفات الأخرى. |
| عرض الحقل field width | عدد صحيح عشري يحدد عرض حقل الخرج الأدنى ويمكن تجاوزه إن لزم الأمر، يُحوّل الوسيط التالي إلى عدد صحيح ويُستخدم مثل قيمة لعرض الحقل إن استُخدمت علامة النجمة "*"، وتُعامل هذه القيمة إذا كانت سالبة كأنها راية "-" متبوعة بعرض حقل ذي قيمة موجبة. يُملأ الخرج ذو الطول الأقصر من عرض الحقل بالمسافات الفارغة (أو بأصفار إذا كان العدد الصحيح المعبر عن عرض الحقل يبدأ بالصفر)، ويُملأ الخرج من الجهة اليسرى إلا إذا حُدّدَت راية تعديل اليسار left-adjustment. |
| الدقة precision | تبدأ قيمة الدقة بالنقطة '.'، وهي تحدد عدد الخانات الدنيا لتحويلات d، أو i، أو o، أو u، أو x، أو X، أو عدد الخانات التي تلي الفاصلة العشرية في تحويلات e، أو E، أو f، أو العدد الأعظمي لخانات تحويلات g وG، أو عدد المحارف المطبوعة من سلسلة نصية في تحويلات s. يتسبب تحديد كمية حشو الحقل padding بتجاهل قيمة `field width`. يُحوَّل الوسيط التالي في حال استخدامنا لعلامة النجمة "*" إلى عدد صحيح ويُستخدم بمثابة قيمة لعرض الحقل، وتعامل القيمة كأنها مفقودة إذا كانت سالبة، وتكون الدقة صفر إذا وجدت النقطة فقط. |
| الطول length | وهي `h` تسبق محدد specifier لطباعة نوع عدد صحيح integral ويتسبب ذلك في معاملتها وكأنها من النوع "short" (لاحظ أن الأنواع المختلفة القصيرة shorts تُرقّى إلى واحدة من أنواع القيم الصحيحة int عندما تُمرّر مثل وسيط). تعمل `l` مثل عمل `h` إلا أنها تُطبّق على وسيط عدد صحيح من نوع "long"، وتُستخدم `L` للدلالة على أنه يجب طباعة وسيط من نوع "long double"، ويطبَّق ذلك فقط على محددات الفاصلة العائمة. يتسبب استخدام هذا في سلوك غير معرف إذا كانت باستخدام النوع الخاطئ من التحويلات. |

يوضح الجدول التالي أنواع التحويلات:

الجدول 23: التحويلات

| المحدد | التأثير | الدقة الافتراضية |
|---|---|---|
| `d` | عدد عشري ذو إشارة | 1 |
| `i` | عدد عشري ذو إشارة | 1 |
| `u` | عدد عشري عديم الإشارة | 1 |
| `o` | عدد ثماني عديم الإشارة | 1 |
| `x` | عدد ست عشري عديم الإشارة من `0` إلى `f` | 1 |
| `X` | عدد ست عشري عديم الإشارة من `0` إلى `F` | 1 |
| | تحدد **الدقة** عدد خانات الأدنى المُستبدل بأصفار إن لزم الأمر، ونحصل على خرج دون أي محارف عند استخدام الدقة صفر لطباعة القيمة صفر | |
| `f` | يطبع قيمة من النوع `double` بعدد خانات الدقة (المقربة) بعد الفاصلة العشرية. استخدم دقة بقيمة صفر للحد من الفاصلة العشرية، وإلا فستظهر خانة واحدة على الأقل بعد الفاصلة العشرية | 6 |
| `e, E` | يطبع قيمة من نوع double بالتنسيق الأسي مُقرّبًا بخانة واحدة قبل الفاصلة العشرية، وعدد من الخانات يبلغ الدقة المحددة بعده، وتُلغى الفاصلة العشرية عند استخدام الدقة صفر، وللأس خانتان على الأقل تطبع بالشكل `1.23e15` في تنسيق e أو 1.23E15 في حالة التنسيق E | 6 |
| `g, G` | تستخدم أسلوب التنسيق f، أو e -E مع G - بحسب الأس، ولا يُستخدم التنسيق f إذا كان الأس أصغر من "4-" أو أكبر أو يساوي الدقة. تُحدّ الأصفار التي تتبع القيمة وتُطبع الفاصلة العشرية فقط في حال وجود خانات تابعة. | غير محدد |
| `c` | يُحوّل الوسيط من نوع عدد صحيح إلى محرف عديم الإشارة ويُطبع المحرف الناتج عن التحويل | |
| `s` | تُطبع سلسلة نصية بطول خانات الدقة، ويجب إنهاء السلسلة النصية باستخدام `NUL` إذا لم تُحدّد الدقة أو كانت أكبر من طول السلسلة النصية | لا نهائي |
| `p` | إظهار قيمة مؤشر من نوع (void *) بطريقة تعتمد على النظام | |
| `n` | يجب أن يكون الوسيط مؤشرًا يشير إلى عدد صحيح، ويكون عدد محارف الخرج باستخدام هذا الاستدعاء مُسندًا إلى العدد الصحيح | |
| `%` | علامة "%" | _ |

تجد وصف الدوال التي تستخدم هذه التنسيقات في الجدول التالي، وجميع الدوال المُستخدمة مُضمّنة في المكتبة <stdio.h>، إليك تصاريح هذه الدوال:

```c
#include <stdio.h>

int fprintf(FILE *stream, const char *format, ...);
int printf(const char *format, ...);
int sprintf(char *s, const char *format, ...);

#include <stdarg.h>     // بالإضافة إلى stdio.h
int vfprintf(FILE *stream, const char *format, va list arg);
int vprintf(const char *format, va list arg);
int vsprintf(char *s, const char *format, va list arg);
```

الجدول 24: الدوال التي تطبع خرجًا مُنسَّقًا

| الاسم | الاستخدام |
|---|---|
| fprintf | نحصل على الخرج المنسق العام بواسطتها كما وصفنا سابقًا، ويكتب الخرج إلى الملف المُحدد باستخدام المجرى stream. |
| printf | دالة مُطابقة لعمل الدالة fprintf إلا أن وسيطها الأول هو stdout. |
| sprintf | دالة مُطابقة لعمل الدالة fprintf باستثناء أن خرجها لا يُكتب إلى ملف، بل يُكتب إلى مصفوفة محارف يُشار إليها باستخدام المؤشر s. |
| vfprintf | خرج مُنسَّق مشابه لخرج الدالة fprintf إلا أن لائحة الوسطاء المتغيرة تُستبدل بالوسيط arg الذي يجب أن يُهيَّأ باستخدام va_start، ولا تُستدعى va_end باستخدام هذه الدالة. |
| vprintf | مطابقة للدالة vfprintf باستثناء أن الوسيط الأول يساوي إلى stdout. |
| vsprintf | خرج مُنسَّق مشابه لخرج الدالة sprintf إلا أن لائحة الوسطاء المتغيرة تُستبدل بالوسيط arg الذي يجب أن يُهيَّأ باستخدام va_start، ولا تُستدعى va_end باستخدام هذه الدالة. |

تُعيد كل الدوال السابقة عدد المحارف المطبوعة أو قيمة سالبة للدلالة على حصول خطأ، ولا يُحسب المحرف الفارغ الزائد بواسطة دالة sprintf و vsprintf.

يجب أن تسمح التنفيذات بالحصول على 509 محارف على الأقل عند استخدام أي تحويل.

### 9.11.3 الدخل: دوال scanf

هنـاك عـدة دوال مشـابهة لمجموعـة دوال `printf` بهـدف الحصـول على الـدخل، والفـارق الواضـح بين مجموعتي الدوال هذه هو أن مجموعة دوال `scanf` تأخذ وسيطًا متمثلًا بمؤشر حـتى تُسـند القيم المقـروءة إلى وجهتها المناسبة، ويُعد نسيان تمرير المؤشر خطأ شائع الحدوث ولا يمكن للمصرّف أن يكتشف حدوثه، إذ يمنـع استخدام لائحة وسطاء متغيرة من ذلك.

تُستخدم سلسلة التنسيق النصية للتحكم بتفسـير المجـرى للبيانـات المُدخلـة الـتي تحتـوي غالبًـا على قيم تُسند إلى كائنات يُشار إليها باستخدام وسطاء دالة `scanf` المتبقية، وقد تتألف سلسلة التنسيق النصية من:

- مساحة فارغة white space: تتسبب بقراءة مجرى الدخل إلى المحـرف التـالي الـذي لا يمثّـل محـرف مسافة فارغة.
- محرف اعتيادي ordinary character: ويمثل المحـرف أي محـرف عـدا محـارف السلسـلة الفارغـة أو "%"، ويجب أن يطابق المحرف التالي في مجرى الدخل هذا المحرف المُحدّد.
- توصيف التحويل conversion specification: وهو محرف "%" متبوع بمحـرف "*" اختيـاري (الـذي يكبح التحويل)، ويُتبع بعدد عشري صحيح لا يساوي الصفر يحدد عرض الحقل الأعظمي، ومحـرف "h"، أو "l"، أو "L" اختياري للتحكم بطول التحويل، وأخيرًا محدد تحويل إجبـاري. لاحـظ أن اسـتخدام "h"، أو "l"، أو "L" سيؤثر على على نوع المؤشر الواجب استخدامه.

حقل الدخل -باستثناء المحددات "c" و "n" و "]"- هو سلسـلة من المحـارف الـتي لا تمثـل مسـافة فارغـة وتبدأ من أول محرف في الـدخل (بشـرط ألا يكـون المحـرف مسـافة فارغـة)، وتُنهى السلسـلة عنـد أول محـرف متعارض أو عند الوصول إلى عرض الحقل المُحدّد.

تُسند النتيجة إلى الشيء الذي يُشير إليه الوسيط إلا إذا كان الإسناد مكبوحًا باستخدام "*" المذكورة سـابقًا، ويمكن استخدام محددات التحويل التالية:

- المحددات `d i o u x`: تُحوِّل `d` عدد صحيح ذو إشارة، وتحوّل `i` عدد صحيح ذو إشارة وتنسيق ملائم لـ`strtol`، وتحوِّل `o` عدد صحيح ثماني، وتحوّل `u` عدد صـحيح عـديم الإشـارة، وتحـول `x` عـدد صـحيح ست عشري.
- المحددات `e f g`: تحوِّل قيمة من نوع `float` (وليس `double`).
- المحدد `s`: يقرأ سلسلة نصـية ويُضـيف محـرف فـار غ في نهايتـه، وتُنهى السلسـلة النصـية باسـتخدام مسافة فارغة عند الدخل (ولا تُقرأ هذه المسافة الفارغة على أنها جزء من الدخل).
- المحدد `]`: يقرأ سلسلة نصية، وتتبع `]` لائحة من المحارف تُدعى **مجموعة المسـح scan set**، ويُنهي المحرف `]` هذه اللائحة. تُقرأ المحارف إلى (غير متضمنةً) المحرف الأول غـير الموجـود ضـمن مجموعـة

المسح؛ فإذا كان المحرف الأول في اللائحة هو "^" فهذا يعني أن مجموعة القراءة تحتوي على أي محرف غير موجود في هذه القائمة، وإذا كانت السلسلة الأولية هي "[^]" أو "[]" فهذا يعني أن ] ليس محدّدًا بل جزءًا من السلسلة ويجب إضافة محرف "]" آخر لإنهاء اللائحة. إذا وجدت علامة ناقص "-" في اللائحة، يجب أن يكون موقعها المحرف الأول أو الأخير، وإلا فإن معناها معرف بحسب التنفيذ.

- المحدد c: يقرأ محرفًا واحدًا متضمنًا محارف المسافات الفارغة، ولقراءة المحرف الأول باستثناء محارف المسافات الفارغة استخدم %1s، ويحدد عرض الحقل مصفوفة المحارف التي يجب قراءتها.
- المحدد p: يقرأ مؤشرًا من النوع (void *) والمكتوب سابقًا باستخدام المحدد %p ضمن استدعاء سابق لمجموعة دوال printf.
- المحدد %: المحرف "%" متوقّع في الدخل ولا يُجرى أي إسناد.
- المحدد n: يُعاد عددًا صحيح يمثل عدد المحارف المقروءة باستخدام هذا الاستدعاء.

يوضح الجدول التالي تأثير محددات الحجم size specifiers:

الجدول 25: محددات الحجم

| المحدد | يُحدِّد | يُحوِّل |
|---|---|---|
| l | d i o u x | عدد صحيح كبير long int |
| h | d i o u x | عدد صحيح صغير short int |
| l | e f | عدد عشري مضاعف double |
| L | e f | عدد عشري مضاعف كبير long double |

إليك وصف دوال مجموعة scanf مع تصاريحها:

```c
#include <stdio.h>

int fscanf(FILE *stream, const char *format, ...);
int sscanf(const char *s, const char *format, ...);
int scanf(const char *format, ...);
```

تأخذ الدالة fscanf دخلها من المجرى المُحدد، وتُطابق الدالة scanf الدالة fscanf مع اختلاف أن الوسيط الأول هو المجرى stdin، بينما تأخذ sscanf دخلها من مصفوفة محارف مُحدّدة.

نحصل على القيمة EOF المُعادة في حال حدوث خطأ دخل قبل أي تحويلات، وإلا فنحصل على عدد التحويلات الناجحة الحاصلة وقد يكون هذا العدد صفر إن لم تُجرى أي تحويلات، ونحصل على خطأ دخل إذا قرأنا

EOF، أو بوصولنا إلى نهاية سلسلة الدخل النصية، بينما نحصل على خطأ تحويل إذا فشل العثور على نمط مناسب يوافق التحويل المحدّد.

## 9.12 عمليات الإدخال والإخراج على المحارف

هناك عدد من الدوال التي تسمح لنا بإجراء عمليات الدخل والخرج على المحارف بصورةٍ منفردة، إليك تصاريحها:

```
#include <stdio.h>
/* دخل المحرف */
int fgetc(FILE *stream);
int getc(FILE *stream);
int getchar(void);
int ungetc(int c, FILE *stream);
/* خرج المحرف */
int fputc(int c, FILE *stream);
int putc(int c, FILE *stream);
int putchar(int c);

/* دخل السلسلة النصية */
char *fgets(char *s, int n, FILE *stream);
char *gets(char *s);

/* خرج السلسلة النصية */
int fputs(const char *s, FILE *stream);
int puts(const char *s);
```

لنستعرض سويًّا كلًّا منها.

### 9.12.1 دخل المحرف

تقرأ مجموعة الدوال التي تنفذ هذه المهمة المحرف مثل قيمة من نوع "unsigned char" من مجرى الدخل المحدد أو من stdin، ونحصل على المحرف الذي يليه في كل حالة من مجرى الدخل. يُعامل المحرف مثل قيمة "unsigned char" ويُحوّل إلى "int" وهي القيمة المُعادة من الدالة. نحصل على الثابت EOF عند الوصول إلى نهاية الملف، ويُضبط مؤشر نهاية الملف end-of-file indicator إلى المجرى المحدد، كما نحصل على EOF في حالة الخطأ ويُضبط مؤشر الخطأ إلى المجرى المحدّد. نستطيع الحصول على المحارف بصورةٍ

تتابعية باستدعاء الدالة تباعًا. قد نحصل على وسيط المجرى `stream` أكثر من مرة في حال استخدام هذه الدوال على أنها ماكرو، لذا لا تستخدم الآثار الجانبية هنا.

هناك برنامج "ungetc" الداعم أيضًا، الذي يُستخدم لإعادة محرف إلى المجرى مما يجعله المحرف التالي الذي سيُقرأ، إلا أن هذه ليست بعملية خرج ولن تتسبب بتغيير محتوى الملف، ولذا تتسبب عمليات `fflush` و `fseek` و `rewind` على المجرى بين عملية إعادة المحرف وقراءته بتجاهل هذا المحرف، ويمكن إعادة محرف واحد فقط وأي محاولات لإعادة `EOF` تُتجاهل، ولا يُعدّل على موضع مؤشر الملف في جميع حالات إعادة قراءة مجموعة من المحارف وإعادة قراءتها أو تجاهلها. يتسبب استدعاء `ungetc` الناجح على مجرى ثنائي بتناقص موضع مؤشر الملف إلا أن ذلك غير محدد عند استخدام مجرى نصي، أو مجرى ثنائي موجود في بداية الملف.

### 9.12.2 خرج المحرف

هذه الدوال مطابقة لدوال الدخل الموصوفة سابقًا إلا أنها تجري عمليات الخرج، إذ تعيد المحرف المكتوب أو `EOF` عند حدوث خطأ ما، ولا يوجد ما يعادل نهاية الملف End Of File في ملف الخرج.

### 9.12.3 خرج السلسلة النصية

تكتب هذه الدوال سلاسل نصيةً إلى ملف الخرج باستخدام المجرى `stream` إن ذُكر وإلا فإلى المجرى `stdout`، ولا يُكتب محرف الإنهاء الفارغ. نحصل على قيمة لا تساوي الصفر عند حدوث خطأ وإلا فالقيمة صفر.

> تضيف `puts` سطرًا جديدًا إلى سلسلة الخرج النصية بينما لا تفعل `fputs` ذلك.

### 9.12.4 دخل السلسلة النصية

تقرأ الدالة `fgets` السلسلة النصية إلى مصفوفة يُشار إليها باستخدام المؤشر `s` من المجرى `stream`، وتتوقف عن القراءة في حال الوصول إلى `EOF` أو عند أول سطر جديد (وتقرأ محرف السطر الجديد)، وتضيف محرفًا فارغًا null في النهاية. يُقرأ n-1 محرف على الأكثر (لترك حيز للمحرف الفارغ).

تعمل الدالة `gets` على نحوٍ مشابه لمجرى `stdin` إلا أنها تتجاهل محرف السطر الجديد.

تعيد كلا الدالتين `s` في حال نجاحهما وإلا فمؤشر فارغ، إذ نحصل على مؤشر فارغ عندما نصادف `EOF` قبل قراءة أي محرف ولا يطرأ أي تغيير على المصفوفة، بينما تصبح محتويات المصفوفة غير معرفة إذا ما واجهنا خطأ قراءة وسط السلسلة النصية بالإضافة إلى إعادة مؤشر فارغ.

## 9.13 الدخل والخرج غير المنسق Unformatted I/O

هذا الجزء بسيط، إذا هناك فقط دالتان تقدمان هذه الخاصية، واحدة منهما للقراءة والأخرى للكتابة ويصرَّح عنهما على النحو التالي:

```
#include <stdio.h>

size_t fread(void *ptr, size_t size, size_t nelem, FILE *stream);
size_t fwrite(const void *ptr, size_t size, size_t nelem, FILE
*stream);
```

تُجرى عملية القراءة أو الكتابة المناسبة للبيانات المُشار إليها بواسطة المؤشر ptr وذلك على nelem عنصر، وبحجم size، ويفشل نقل ذلك المقدار الكامل من العناصر فقط عند الكتابة، إذ قد تعيق نهاية الملف دخل العناصر بأكملها، وتُعيد الدالة عدد العناصر التي نُقلت فعليًّا. نستخدم feof أو ferror للتمييز بين نهاية الملف عند الدخل أو للإشارة على خطأ.

تُعيد الدالة القيمة صفر دون أي فعل إذا كانت قيمة size أو nelem تساوي إلى الصفر.

قد يساعدنا المثال الآتي في توضيح عمل الدالتين المذكورتين:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

struct xx{
        int xx_int;
        float xx_float;
}ar[20];

main(){

        FILE *fp = fopen("testfile", "w");

        if(fwrite((const void *)ar,
                sizeof(ar[0]), 5, fp) != 5){

                fprintf(stderr,"Error writing\n");
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        rewind(fp);

        if(fread((void *)&ar[10],
                sizeof(ar[0]), 5, fp) != 5){
```

```
                if(ferror(fp)){
                        fprintf(stderr,"Error reading\n");
                        exit(EXIT_FAILURE);
                }
                if(feof(fp)){
                        fprintf(stderr,"End of File\n");
                        exit(EXIT_FAILURE);
                }
        }
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 7]

## 9.14 الدوال عشوائية الوصول Random access functions

تعمل جميع دوال دخل وخرج الملفات بصورةٍ مشابهة بين بعضها، إذ أن الملفات ستُقرأ أو يُكتب إليها بصورةٍ متتابعة إلا إذا اتخذ المستخدم خطوات مقصودة لتغيير موضع مؤشر الملف. ستتسبب عملية قراءة متبوعة بكتابة متبوعة بقراءة ببدء عملية القراءة الثانية بعد نهاية عملية كتابة البيانات فورًا، وذلك بفرض أن الملف مفتوح باستخدام نمط يسمح بهذا النوع من العمليات، كما يجب أن تتذكر أن المجرى stdio يُصرّ على إدخال المستخدم لعملية تحرير ذاكرة مؤقتة بين كل عنصر من عناصر دورة قراءة- كتابة- قراءة، وللتحكم بذلك، تسمح دالة الوصول العشوائي random access function بالتحكم بموضع الكتابة والقراءة ضمن الملف، إذ يُحرّك موضع مؤشر الملف دون الحاجة لقراءة أو كتابة ويشير إلى البايت الذي سيخضع لعملية القراءة أو الكتابة التالية.

هناك ثلاثة أنواع من الدوال التي تسمح بفحص موضع مؤشر الملف أو تغييره، إليك تصاريح كل منهم:

```c
#include <stdio.h>

/* إعادة موضع مؤشر الملف */
long ftell(FILE *stream);
int fgetpos(FILE *stream, fpos_t *pos);

/* ضبط موضع مؤشر الملف إلى الصفر */
void rewind(FILE *stream);
```

```c
/* ضبط موضع مؤشر الملف */
int fseek(FILE *stream, long offset, int ptrname);
int fsetpos(FILE *stream, const fpos_t *pos);
```

تُعيد الدالة `ftell` القيمة الحالية لموضع مؤشر الملف (المُقاسة بعدد المحارف)، إذا كان المجرى `stream` يشير إلى ملف ثنائي، وإلا فإنها تعيد رقمًا مميزًا في حالة الملف النصي، ويمكن استخدام هذه القيمة فقط عند استدعاءات لاحقة لدالة `fseek` لإعادة ضبط موضع مؤشر الملف الحالة. نحصل على القيمة `-1L` في حالة الخطأ ويُضبط `errno`.

تضبط الدالة `rewind` موضع مؤشر الملف الحالي إلى بداية الملف المُشار إليه بالمجرى `stream`، ويُعاد ضبط مؤشر خطأ الملف باستدعاء الدالة `rewind` ولا تُعيد الدالة أي قيمة.

تسمح الدالة `fseek` لموضع مؤشر الملف ضمن المجرى أن يُضبط لقيمة عشوائية (للملفات الثنائية)، أو إلى الموضع الذي نحصل عليه من `ftell` فقط بالنسبة للملفات النصية، وتتبع الدالة القوانين التالية:

- يُضبط موضع مؤشر الملف في الحالة الاعتيادية بفارق معين من البايتات (المحارف) عن نقطة الملف المُحددة بالقيمة `prtname`، وقد يكون الفارق `offset` سالبًا. قد يأخذ `ptrname` القيمة `SEEK_SET` التي تضبط موضع مؤشر الملف نسبيًا إلى بداية الملف، أو القيمة `SEEK_CUR` التي تضبط موضع مؤشر الملف نسبيًا إلى قيمتها الحالية، أو القيمة `SEEK_END` التي تضبط موضع مؤشر الملف نسبيًا إلى نهاية الملف، إلا أنه من غير المضمون أن تعمل القيمة الأخيرة بنجاح في المجاري الثنائية.
- يجب أن تكون قيمة `offset` في الملفات النصية إما صفر أو قيمة مُعادة بواسطة استدعاء سابق للدالة `ftell` على المجرى ذاته، ويجب أن تكون قيمة `ptrnmae` مساويةً إلى `SEEK_SET`.
- يُفرغ `fseek` مؤشر نهاية الملف للمجرى المُحدد ويحذف بيانات أي استدعاء لعملية `ungetc`، ويعمل ذلك لكلٍّ من الدخل والخرج.
- تُعاد القيمة صفر للدلالة على النجاح وأي قيمة غير صفرية تدل على طلب ممنوع للدالة.

لاحظ أنه يمكن لكلٍ من `ftell` و `fseek` ترميز قيمة موضع مؤشر الملف إلى قيمة من نوع `long`، وقد لا يحدث هذا بنجاح في حالة استخدامه على الملفات الطويلة جدًا؛ لذلك، يقدم المعيار كلًا من `fgetpos` و `fsetpos` للتغلُّب على هذه المشكلة.

تخزِّن الدالة `fgetpos` موضع مؤشر الملف الحالي ضمن المجرى للكائن المُشار إليه باستخدام المؤشر `pos`، والقيمة المخزنة هي قيمة مميزة تُستخدم فقط للعودة إلى الموضع المحدد ضمن المجرى ذاته باستخدام الدالة `fsetpos`. تعمل الدالة `fsetpos` كما وضحنا سابقًا، كما أنها تُفرغ مؤشر نهاية الملف للمجرى وتُزيل أي تأثير لعمليات `ungetc` سابقة.

نحصل على القيمة صفر في حالة النجاح لكلا الدالتين، بينما نحصل على قيمة غير صـفرية في حالـة الخطـأ ويُضبط errno.

### 9.14.1 التعامل مع الأخطاء

تحافظ دوال الدخل والخرج القياسية على مؤشرين لكل مجرى مفتوح للدلالة على نهاية الملف وحالة الخطـأ ضمنه، ويمكن الحصول على قيم هذه المؤشرات وضبطها عن طريق الدوال التالية:

```c
#include <stdio.h>

void clearerr(FILE *stream);

int feof(FILE *stream);

int ferror(FILE *stream);

void perror(const char *s);
```

- تُفرّغ الدالة clearerr كلًا من مؤشري الخطأ ونهاية الملف EOF للمجرى stream.
- تُعيد الدالة feof قيمةً غير صفرية إذا كان لمؤشر نهاية الملـف الخـاص بـالمجرى stream قيمـة، وإلا فإنها تعيد القيمة صفر.
- تُعيد الدالة ferror قيمة غير صفرية إذا كان لمؤشر الخطأ الخاص بالمجرى stream قيمـة، وإلا فإنهـا تعيد القيمة صفر.
- تطبع الدالة perror سطرًا واحدًا يحتوي على رسالة خطأ على خرج البرنامج القياسي مسبوقًا بالسلسلة النصية المُشار إليها بواسـطة المؤشـر s مـع إضـافة مسـافة فارغـة ونقطـتين ":". تُحـدد رسـالة الخطـأ بحسب قيمة errno وتُعطي شرحًا بسيطًا عن سبب الخطأ، على سبيل المثال يتسبب البرنامج التـالي برسالة خطأ:

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){

        fclose(stdout);
        if(fgetc(stdout) >= 0){
```

```
                fprintf(stderr, "What - no error!\n");
                exit(EXIT_FAILURE);
        }
        perror("fgetc");
        exit(EXIT_SUCCESS);
}

/* رسالة الخطأ */
fgetc: Bad file number
```

[مثال 8]

لم نقُل أن الرسالة التي سنحصل عليها ستكون واضحة.

## 9.15 أدوات مكتبة stdlib

نستعرض هنا الأدوات الموجودة في ملف الترويسة <stdlib.h> الذي يصرح عن عدد من الأنواع والماكرو وعدة دوال للاستخدام العام، تتضمن الأنواع والماكرو التالي:

- النوع size_t: تكلمنا عنه سابقًا.
- النوع div_t: نوع من الهياكل التي تعيدها الدالة div.
- النوع ldiv_t: نوع من الهياكل التي تعيدها الدالة ldiv.
- النوع NULL: تكلمنا عنه سابقًا.
- القيمة EXIT_FAILURE و EXIT_SUCCESS: يمكن استخدامهما مثل وسيط للدالة exit.
- القيمة MB_CUR_MAX: العدد الأعظمي للبايتات في محرف متعدد البايتات multibyte character من مجموعة المحارف الإضافية والمحددة حسب إعدادت اللغة المحلية locale.
- القيمة RAND_MAX: القيمة العظمى المُعادة من استدعاء دالة rand.

### 9.15.1 دوال تحويل السلسلة النصية

هناك ثلاث دوال تقبل سلسلة نصية وسيطًا لها وتحوّلها إلى عدد من نوع معين كما هو موضح هنا:

```
#include <stdlib.h>

double atof(const char *nptr);
```

```
long atol(const char *nptr);
int atoi(const char *nptr);
```

نحصل على عدد مُحوّل مُعاد لكل من الدوال الثلاث السابقة، ولا تضمن لك أيٌ من الدوال أن تضبط القيمة errno (إلا أن الأمر محقّق في بعض التنفيذات)، وتكون النتائج التي نحصل عليها من تحويلات تتسبب بحدوث طفحان overflow ولا يمكننا تمثيلها غير معرّفة.

هناك بعض الدوال أكثر تعقيدًا:

```
#include <stdlib.h>

double strtod(const char *nptr, char **endptr);
long strtol(const char *nptr, char **endptr, int base);
unsigned long strtoul(const char *nptr,char **endptr, int base);
```

تعمل الدوال الثلاث السابقة بطريقة مشابهة، إذ يجري تجاهل أي مسافات فارغة بادئة ومن ثم يُعثر على الثابت المناسب subject sequence متبوعًا بسلسلة محارف غير معترف عليها، ويكون المحرف الفارغ في نهاية السلسلة النصية غير مُعترف عليه دائمًا. تُحدد السلسلة المذكورة حسب التالي:

- في الدالة strtod: إشارة "+" أو "-" اختيارية في البداية متبوعة بسلسلة أرقام تحتوي على محرف الفاصلة العشرية الاختياري وأس exponent اختياري أيضًا. لا يُعترف على أي لاحقة عائمة (ما بعد الفاصلة العشرية)، وتُعدّ الفاصلة العشرية تابعةً لسلسلة الأرقام إذا وُجدت.
- في الدالة strtol: إشارة "+" أو "-" اختيارية في البداية متبوعة بسلسلة أرقام، وتُؤخذ هذه الأرقام من الخانات العشرية أو من أحرف صغيرة lower case أو كبيرة upper case ضمن النطاق a إلى z في الأبجدية الإنجليزية ويُعطى لكل من هذه الأحرف القيم ضمن النطاق 10 إلى 35 بالترتيب. يحدِّد الوسيط base القيم المسموحة ويمكن أن تكون قيمة الوسيط صفر أو ضمن النطاق 2 إلى 36. يجري التعرُّف على الخانات التي تبلغ قيمتها أقل من الوسيط base، إذ تسمح القيمة 16 للوسيط base على سبيل المثال للمحارف 0x أو 0X أن تتبع الإشارة الاختيارية، بينما يسمح base بقيمة صفر أن تكون المحارف المدخلة على هيئة أعداد صحيحة ثابتة في سي، ولا يُعترف على أي لاحقة عدد صحيح.
- في الدالة strtoul: مطابقة للدالة strtol إلا أنها لا تسمح بوجود إشارة.

يُخزّن عنوان أول محرف غير مُعترف عليه في الكائن الذي يشير إليه endptr في حال لم يكُن فارغًا، وتكون هذه قيمة nptr إذا كانت السلسلة فارغة أو ذات تنسيق خاطئ.

تحوّل الدالة الرقم وتُعيده مع الأخذ بالحسبان كون وجود الإشارة البادئة مسموحًا أو لا، وذلك إذا كان إجراء التحويل ممكنًا، وإلا فإنها تعيد القيمة صفر. عند حدوث الطفحان أو حصول خطأ تُجرى العمليات التالية:

- في الدالة `strtod`: تُعيد عند الطفحان القيمة `±HUGE_VAL` وتعتمد الإشارة على إشارة النتيجة، وتُعيد القيمة صفر عند طفحان الحد الأدنى underflow ويُضبط `errno` في الحالتين إلى القيمة `ERANGE`.
- في الدالة `strtol`: تُعيد القيمة `LONG_MAX` أو `LONG_MIN` عند الطفحان بحسب إشارة النتيجة، ويُضبط `errno` في كلا الحالتين إلى القيمة `ERANGE`.
- في الدالة `strtoul`: تُعيد القيمة `ULONG_MAX` عند الطفحان، ويُضبط `errno` إلى القيمة `ERANGE`.

قد يكون هناك سلاسل أخرى من الممكن التعرُّف عليها في بعض التنفيذات إذا لم تكن الإعدادات المحلية هي إعدادات سي التقليدية.

### 9.15.2 توليد الأرقام العشوائية

تقدِّم الدوال التالية طريقةً لتوليد الأرقام العشوائية الزائفة pseudo-random:

```
#include <stdlib.h>

int rand(void);
void srand(unsigned int seed);
```

تُعيد الدالة `rand` رقمًا عشوائيًا زائفًا ضمن النطاق من "0" إلى "RAND_MAX"، وهو ثابت قيمته على الأقل "32767".

تسمح الدالة `srand` بتحديد نقطة بداية للنطاق المُختار طبقًا لقيمة الوسيط `seed`، وهي ذات قيمة "1" افتراضيًا إذا لم تُستدعى `srand` قبل `rand`، ونحصل على سلسلة قيم مطابقة من الدالة `rand` إذا استخدمنا قيمة `seed` ذاتها.

يصف المعيار الخوارزمية المستخدمة في دالتي `rand` و `srand`، وتستخدم معظم التنفيذات هذه الخوارزمية عادةً.

### 9.15.3 حجز المساحة

تُستخدم هذه الدوال لحجز وتحرير المساحة، إذ يُضمن للمساحة التي حصلنا عليها أن تكون كبيرةً كفاية لتخزين كائن من نوع معين ومُحاذاة ضمن الذاكرة بحيث لا تتسبب بتفعيل استثناءات العنوان addressing exceptions، ولا يجب افتراض أي شيء آخر بخصوص عملها.

```
#include <stdlib.h>

void *malloc(size_t size);
```

```
void *calloc(size_t nmemb, size_t size);
void *realloc(void *ptr, size_t size);

void *free(void *ptr);
```

تُعيد جميع دوال حجز المساحة مؤشرًا يشير إلى المساحة المحجوزة التي يبلغ حجمها size بايت، وإذا لم يكن هناك أي مساحة فارغة فهي تعيد مؤشرًا فارغًا، إلا أن الفرق بين الدوال هو أن دالة calloc تأخذ وسيطًا يدعى nmemb الذي يحدد عدد العناصر في مصفوفة، وكل عنصر في هذه المصفوفة يبلغ حجمه size بايت، ولذا فهي تحجز مساحةً أكبر من التخزين عادةً من المساحة التي تحجزها malloc، كما أن المساحة المحجوز بواسطة malloc غير مُهيّئة بينما تُهيّأ جميع بتات مساحة التخزين المحجوزة بواسطة calloc إلى الصفر، إلا أن هذا الصفر ليس تمثيلًا مكافئًا للصفر ضمن الفاصلة العائمة floating-point أو مؤشرًا فارغًا null بالضرورة.

تُستخدم الدالة realloc لتغيير حجم الشيء المُشار إليه بواسطة المؤشر ptr مما يتطلب بعض النسخ لإنجاز هذا الأمر ومن ثمّ تُحرّر مساحة التخزين القديمة. لا تُغيّر محتويات الكائن المُشار إليه بواسطة ptr بالنسبة للحجمين القديم والجديد، وتتصرف الدالة تصرفًا مماثلًا لتصرف malloc إذا كان المؤشر ptr مؤشرًا فارغًا وذلك للحجم المخصّص.

تُستخدم الدالة free لتحرير المساحة المحجوزة مسبقًا من إحدى دوال حجز المساحة، ومن المسموح تمرير مؤشر فارغ إلى الدالة free وسيطًا لها، إلا أن الدالة في هذه الحالة لا تنفّذ أي شيء.

إذا حاولت تحرير مساحة لم تُحجز مسبقًا تحصل على سلوك غير محدّد، ويتسبب هذا الأمر في العديد من التنفيذات باستثناء عنوان addressing exception مما يوقف البرنامج، إلا أن هذه ليست بدلالة يمكن الاعتماد عليها.

## 9.15.4 التواصل مع البيئة

سنستعرض مجموعةً من الدوال المتنوعة:

```
#include <stdlib.h>

void abort(void);
int atexit(void (*func)(void));
void exit(int status);
char *getenv(const char *name);
int system(const char *string);
```

- دالة abort: تتسبب بإيقاف غير اعتيادي للبرنامج وذلك باستخدام الإشارة SIGABRT، ويمكن منع الإيقاف غير الاعتيادي فقط إذا حصلنا على الإشارة ولم يُعد معالج الإشارة signal handler أي قيمة،

وإلا ستُحذف ملفات الخرج وقد يمكن أيضًا إزالة الملفات المؤقتة بحسب تعريف التنفيذ، وتُعاد حالة "إنهاء برنامج غير ناجح unsuccessful termination" إلى البيئة المُستضافة، كما أن هذه الدالة لا يمكن أن تُعيد أي قيمة.

- دالة `atexit`: يصبح وسيط الدالة `func` دالةً يمكن استدعاؤها دون استخدام أي وسطاء عندما يُغلق البرنامج، ويمكن استخدام ما لا يقل عن 32 دالة مشابهة لهذه الدالة وأن تُستدعى عند إغلاق البرنامج بصورةٍ مُعاكسة لتسجيل كلٍّ منها، ونحصل على القيمة المُعادة صفر للدلالة على النجاح وإلا فقيمة غير صفرية للدلالة على الفشل.

- دالة `exit`: تُستدعى هذه الدالة عادةً لإنهاء البرنامج على نحوٍ اعتيادي، وتُستدعى عند تنفيذ الدالة جميع الدوال المُسجّلة باستخدام دالة `atexit`، لكن انتبه، إذ ستُعد الدالة `main` بحلول هذه النقطة قد أعادت قيمتها ولا يمكن استخدام أي كائنات ذات مدة تخزين تلقائي automatic storage duration على نحوٍ آمن، من ثمّ تُحذف محتويات جميع مجاري الخرج output streams وتُغلق وتُزال جميع الملفات التلقائية المُنشأة بواسطة `tmpfile`، وأخيرًا يُعيد البرنامج التحكم إلى البيئة المستضافة بإعادة حالة نجاح أو فشل محدّدة بحسب التنفيذ، وتعتمد الحالة على إذا ما كان وسيط الدالة `exit` مساوٍ للقيمة `EXITSUCCESS` (وهذه حالة النجاح) أو `EXITFAILURE` (حالة الفشل). للتوافق مع لغة سي القديمة، تُستخدم القيمة صفر بدلًا من `EXITFAILURE`، بينما يكون لباقي القيم تأثيرات معرّفة بحسب التنفيذ. **لا يمكن** أن تُعاد حالة الخروج.

- دالة `getenv`: يجري البحث في **لائحة البيئة environment list** المعرفة بحسب التنفيذ بهدف العثور على عنصر يوافق السلسلة النصية المُشار إليها بواسطة وسيط الاسم `name`، إذ تُعيد الدالة مؤشرًا إلى العنصر يشير إلى مصفوفة لا يمكن تعديلها من قبل البرنامج ويمكن تعديلها باستدعاء لاحق للدالة `getenv`، ونحصل على مؤشر فارغ إذا لم يُعثر على عنصر موافق. يعتمد الهدف من لائحة البيئة وتنفيذها على البيئة المُستضافة.

- دالة `system`: تُمرّر سلسلة نصية إلى أمر معالج مُعرف حسب التنفيذ، ويتسبب مؤشر فارغ بإعادة القيمة صفر، وقيمة غير صفرية إذا لم يكن الأمر موجودًا، بينما يتسبب مؤشر غير فارغ بمعالجة الأمر. نتيجة الأمر والقيمة المُعادة معرف حسب التنفيذ.

### 9.15.5 البحث والترتيب

هناك دالتان ضمن هذا التصنيف، أولهما دالة للبحث ضمن لائحة مُرتّبة والأخرى لترتيب لائحة غير مرتبة، واستخدام الدالتان عام، إذ يمكن استخدامهما في مصفوفات من أي سعة وعناصرها من أي حجم.

يجب أن يلجأ المستخدم إلى دالة مقارنة إذا أراد مقارنة عنصرين عند استخدام الدوال السابقة، إذ تُستدعى هذه الدالة باستخدام المؤشرين الذين يشيران إلى العنصرين مثل وسطاء الدالة، وتُعيد الدالة قيمةً أقل من

الصفر إذا كانت قيمة المؤشر الأول أصغر من قيمة المؤشر الثاني، وقيمة أكبر من الصفر إذا كانت قيمة المؤشر الأول أكبر من المؤشر الثاني، والقيمة صفر إذا كانت قيمتا المؤشرين متساويين.

```c
#include <stdlib.h>

void *bsearch(const void *key, const void *base,
        size_t nmemb, size_t size,
        int (*compar)(const void *, const void *));

void *qsort(const void *base, size_t nmemb,
        size_t size,
        int (*compar)(const void *, const void *));
```

يمثّل الوسيط `nmemb` في كلٍّ من الدالتين السابقتين عدد العناصر في المصفوفة، ويمثل الوسيط `size` حجم عنصر المصفوفة الواحد بالبايت و `compar` هي الدالة التي تُستدعى للمقارنة بين العنصرين، بينما يشير المؤشر `base` إلى أساس المصفوفة أي بدايتها.

ترتّب الدالة `qsort` المصفوفة ترتيبًا تصاعديًا.

تفترض الدالة `bsearch` أن المصفوفة مرتّبة مسبقًا وتُعيد مؤشرًا إلى أي عنصر يتساوى مع العنصر المُشار إليه بالمؤشر `key`، وتُعيد الدالة مؤشرًا فارغًا إذا لم تجد أي عناصر متساوية.

### 9.15.6 دوال العمليات الحسابية الصحيحة

تقدّم هذه الدوال طريقةً لإيجاد القيمة المطلقة لوسيط يمثل عدد صحيح، إضافةً لحاصل القسمة والباقي من العملية لكلٍّ من النوعين `int` و `long`.

```c
#include <stdlib.h>

int abs(int j);
long labs(long j);

div_t div(int numerator, int denominator);
ldiv_t ldiv(long numerator, long denominator);
```

- الدالتان `abs` و `labs`: تُعيدان القيمة المطلقة لوسيطهما ويجب اختيار الدالة المناسبة بحسب احتياجاتك. نحصل على سلوك غير معرّف إذا لم تكن القيمة ممكنة التمثيل وقد يحدث ذلك في

الأنظمة التي تعمل بنظام المتمم الثنائي two's complement systems، إذ لا يوجد لأكثر رقم سلبيّة أي مكافئ إيجابي.

- الدالتان `div` و`ldiv`: تُقسّمان الوسيط `numerator` على الوسيط `denominator` وتُعيدان هيكلًا structure للنوع المحدد، وفي أي حالة، سيحتوي الهيكل على عضو يدعى `quot` يحتوي على حاصل القسمة الصحيحة وعضوًا آخر يدعى `rem` يحتوي على باقي القسمة، ونوع العضوين هو `int` في الدالة `div` و `long` في الدالة `ldiv`، ويمكن تمثيل نتيجة العملية على النحو التالي:

```
quot*denominator+rem == numerator
```

### 9.15.7 الدوال التي تستخدم المحارف متعددة البايت

يؤثر تصنيف `LC_CTYPE` ضمن الإعدادات المحلية الحالية على سلوك هذه الدوال، إذ تُضبط كل دالة إلى حالة ابتدائية باستدعاء يكون وسيطها `s` الذي يمثل مؤشر المحرف فارغًا null، وذلك في حالة الترميز المُعتمد على الحالة endcoding state-dependent، وتُغيَّر حالة الدالة الداخلية وفق الضرورة عن طريق استدعاءات لاحقة عندما لا يكون `s` مؤشرًا فارغًا. تُعيد الدالة قيمةً غير صفرية إذا كان الترميز معتمدًا على الحالة، وإلا فتعيد القيمة صفر إذا كان المؤشر `s` فارغًا. تصبح حالة الإزاحة state shift الخاصة بالدوال غير محددة indeterminate إذا حدث تغيير للتصنيف `LC_TYPE`.

الدوال هي:

```
#include <stdlib.h>

int mblen(const char *s, size_t n);
int mbtowc(wchar_t *pwc, const char *s, size_t n);
int wctomb(char *s, wchar_t wchar);
size_t mbstowcs(wchar_t *pwcs, const char *s, size_t n);
size_t wcstombs(char *s, const wchar_t *pwcs, size_t n);
```

- الدالة `mblen`: تُعيد عدد البايتات المُحتواة بداخل محرف متعدد البايتات multibyte character المُشار إليه بواسطة المؤشر `s` أو تُعيد القيمة 1- إذا كان أول `n` بايت لا يشكّل محرف متعدد البايتات صالحًا، أو تُعيد القيمة صفر إذا كان المؤشر يشير إلى محرف فارغ.

- الدالة `mbtowc`: تُحوِّل محرف متعدد البايتات يُشير إليه المؤشر `s` إلى الرمز الموافق له من النوع `wchar_t` وتُخزّن النتيجة في الكائن المُشار إليه بالمؤشر `pwc`، إلا إن كان `pwc` مؤشرًا فارغًا، وتُعيد الدالة عدد البايتات المُحوّلة بنجاح، أو 1- إذا لم تشكّل أول `n` بايت محرفًا متعدد البايت صالحًا، ولا يُفحص أكثر من `n` بايت يُشير إليه المؤشر `s`، ولن تتعدى القيمة المُعادة قيمة `n` أو `MB_CUR_MAX`.

- دالة wctmob: تُحوِّل رمز القيمة wchar إلى سلسلة من البايتات تمثل محرف متعدد البايتات وتخزن النتيجة في مصفوفة يشير إليها المؤشر s وذلك إن لم يكن s مؤشرًا فارغًا، وتُعيد الدالة عدد البايتات المحتواة داخل محرف متعدد البايتات، أو 1- إذا كانت القيمة المخزنة في wchar لا تمثل محرف متعدد البايات، ومن غير الممكن معالجة عدد بايتات يتجاوز MB_CUR_MAX.
- دالة mbstowcs: تحوّل سلسلة محارف متعددة البايتات بدءًا من الحالة الأولية للإزاحة initial shift state وذلك ضمن المصفوفة التي يشير إليها المؤشر s إلى سلسلة من الرموز الموافقة ومن ثم تخزّنها في مصفوفة يشير إليها المؤشر pwcs، لا يُخزّن ما يزيد عن n قيمة في pwcs، وتُعيد الدالة 1- إذا صادفت محرفًا متعدد البايت غير صالح، وإلا فإنها تعيد عدد عناصر المصفوفة المُعدّلة باستثناء رمز إنهاء المصفوفة.
- نحصل على سلوك غير معرّف إذا وجد كائنين متقاطعين.
- الدالة wcstombs: تُحوِّل سلسلة من الرموز المُشار إليها بالمؤشر pwcs إلى سلسلة من المحارف متعددة البايتات بدءًا من الحالة الأولية للإزاحة وتُخزّن فيما بعد في مصفوفة مُشار إليها بالمؤشر s. تتوقف عملية التحويل عند مصادفة رمز فارغ، أو عند كتابة n بايت إلى s، وتُعيد الدالة 1- إذا كان الرمز المُصادف لا يمثل محرفًا متعدد البايتات صالحًا، وإلا فيُعاد عدد البايتات التي كُتبت باستثناء رمز الإنهاء الفارغ.

نحصل على سلوك غير محدد إذا وجد كائنين متقاطعين.

## 9.16 التعامل مع السلاسل النصية

هناك العديد من الدوال التي تسمح لنا بالتعامل مع السلاسل النصية، إذ تكون السلسلة النصية في لغة سي مؤلفةً من مصفوفة من المحارف تنتهي بمحرف فارغ null، وتتوقع الدوال في جميع الحالات تمرير مؤشر يشير إلى المحرف الأول ضمن السلسلة النصية، ويعرّف ملف الترويسة <string.h> هذا النوع من الدوال.

### 9.16.1 النسخ

يضم هذا التصنيف الدوال التالية:

```c
#include <string.h>

void *memcpy(void *s1, const void *s2, size_t n);
void *memmove (void *s1, const void *s2, size_t n);
char *strcpy(char *s1, const char *s2);
char *strncpy(char *s1, const char *s2, size_t n);
```

```
char *strcat(char *s1, const char *s2);
char *strncat(char *s1, const char *s2, size_t n);
```

- دالة memcpy: تنسخ هذه الدالة n بايت من المكان الذي يشير إليه المؤشر s2 إلى المكـان الـذي يشـير إليه المؤشر s1، ونحصل على سلوك غير محـدد إذا كـان الكائنـان متـداخلان objects overlapping. تعيد الدالة s1.

- دالة memmove: هذه الدالة مطابقة لعمل دالة memcpy إلا أنها تعمل على الكائنـات المتداخلـة، إلا أنهـا قد تكون أبطأ.

- دالتَي strcpy وstrncpy: تنسـخ كلا الـدالتين السلسـلة النصـية الـتي يشـير إليهـا المؤشـر s2 إلى سلسلة نصية يشير المؤشر s1 إليها متضمنًا ذلك المحرف الفارغ في نهاية السلسلة. تنسخ strncpy سلسلةً نصيةً بطـول n بـايت على الأكـثر، وتحشـو مـا تبقى بمحـارف فارغـة إذا كـانت s2 أقصـر من n محرف، ونحصل على سلوك غير معرّف، إذا كانت السلسلتان متقاطعتين، وتُعيد كلا الدالتين s1.

- الدالتان strcat و strncat: تُضيف كلا الدالتين السلسلة النصية s2 إلى السلسلة s1 بالكتابة فـوق overwrite المحـرف الفـارغ في نهايـة السلسـلة s1، بينمـا يُضـاف المحـرف الفـارغ دائمًـا إلى نهايـة السلسلة. يمكن إضافة n محرف على الأكثر من السلسلة s2 باستخدام الدالـة strncat ممـا يعـني أن السلسلة النصية الهدف (أي s1) يجب أن تحتوي على مساحة لطولها الأصلي (دون احتساب المحــرف الفارغ) زائد n+1 محرف للتنفيذ الآمن. تعيد الدالتين s1.

### 9.16.2 مقارنة السلسلة النصية والبايت

تُستخدم هذه الدوال في مقارنة مصفوفات من البايتات، وهذا يتضمن طبعًا السلاسل النصية في لغة سـي إذ أنها سلسلةٌ من المحـارف char (أي البايتـات) بمحـرف فـارغ في نهايتهـا. تعمـل جميـع هـذه الـدوال الـتي سنذكرها على مقارنة بايت تلو الآخر وتتوقف فقط في حالة اختلف بايت مـع بـايت آخـر (في هـذه الحالـة تُعيـد الدالة إشارة الفرق بين البايت والآخر) أو عندما تكون المصفوفتان متساويتين (أي لم يُعـثر على أي فـرق بينهمـا وكـان طولهمـا مسـاوٍ إلى الطـول المحـدد أو -في حالـة المقارنـة بين السلاسـل النصـية- وُجـد المحـرف الفـارغ في النهاية).

القيمة المُعادة في جميع الدوال عدا الدالة strxfrm هي أصغر من الصـفر، أو تسـاوي الصـفر، أو أكـبر من الصفر وذلك في حالة كان الكائن الأول أصغر من الكائن الثاني، أو يساوي الكائن الثاني، أو أكبر من الكائن الثاني على الترتيب.

```
#include <string.h>

```

```
int memcmp(const void *s1, const void *s2, size_t n);
int strcmp(const char *s1, const char *s2);
int strncmp(const char *s1, const char *s2, size_t n);
size_t strxfrm(char *to, const char *from,
int strcoll(const char *s1, const char *s2);
```

- دالة `memcmp`: تُقارن أول `n` محرف في الكائن الذي يشير إليه المؤشر `s1` و`s2`، إلا أن مقارنة الهياكل بهذه الطريقة ليست مثالية، إذ قد تحتوي الاتحادات unions أو "الثقوب holes" المُسببة بواسطة محاذاة ذاكرة التخزين على بيانات غير صالحة.
- دالة `strcmp`: تُقارن سلسلتين نصيتين وهي إحدى أكثر الدوال استخدامًا عند التعامل مع السلاسل النصية.
- الدالة `strncmp`: تُطابق عمل الدالة `strcmp` إلا أنها تقارن `n` محرف على الأكثر.
- الدالة `strxfrm`: تُحوّل السلسلة النصية المُمرّرة إليها (بصورةٍ خاصة ومميزة)، وتُخزّن إلى موضع المؤشر، ويُكتب `maxsize` محرف على الأكثر إلى موضع المؤشر (متضمنًا المحرف الفارغ في النهاية)، وتضمن طريقة التحويل أننا سنحصل على نتيجة المقارنة ذاتها لسلسلتين نصيتين محوّلتين ضمن إعدادات المستخدم المحلية عند استخدام الدالة `strcmp` بعد تطبيق الدالة `strcoll` على السلسلتين النصيتين الأساسيتين.

نحصل على طول السلسلة النصية الناتجة مثل قيمة مُعادة في جميع الحالات (باستثناء المحرف الفارغ في نهاية السلسلة)، وتكون محتويات المؤشر `to` غير معرّفة إذا كانت القيمة مساوية أو أكبر من `maxsize`، وقد تكون `s1` مؤشرًا فارغًا إذا كانت `maxsize` صفر، ونحصل على سلوك غير معرّف إذا كان الكائنان متقاطعين.

- دالة `strcoll` تُقارن هذه الدالة سلسلتين نصيتين بحسب سلسلة الترتيب collating sequence المحدد في إعدادات اللغة المحلية.

### 9.16.3 دوال بحث المحارف والسلاسل النصية

يتضمن التصنيف الدوال التالية:

```
#include <string.h>

void *memchr(const void *s, int c, size_t n);
char *strchr(const char *s, int c);
size_t strcspn(const char *s1, const char *s2);
```

```
char *strpbrk(const char *s1, const char *s2);
char *strrchr(const char *s, int c);
size_t strspn(const char *s1, const char *s2);
char *strstr(const char *s1, const char *s2);
char *strtok(const char *s1, const char *s2);
```

- دالـة `memchr`: تُعيـد مؤشـرًا يشـير إلى أول ظهـور ضـمن أول `n` محـرف من `*s` للمحـرف `c` (من نـوع `unsigned char`)، وتُعيد فراغًا null إن لم يُعثر على أي تطابق.
- دالة `strchr`: تُعيد مؤشرًا يشير إلى أول ظهور للمحرف `c` ضمن `*s` ويتضمن البحث المحرف الفـارغ، وتُعيد فراغًا null إذا لم يُعثر على أي تطابق.
- دالة `strcspn`: تُعيد طول الجزء الأولي للسلسلة النصية `s1` الـذي لا يحتـوي أيًّا من محـارف السلسـلة `s2`، ولا يؤخذ المحرف الفارغ في نهاية السلسلة `s2` بالحسبان.
- دالة `strpbrk`: تُعيد مؤشرًا إلى أول محرف ضـمن `s1` يطـابق أي محـرف من محـارف السلسـلة `s2` أو تُعيد فراغًا إن لم يُعثر على أي تطابق.
- دالة `strrchr`: تُعيد مؤشرًا إلى آخر محرف ضمن `s1` يطابق المحرف `c` آخذة بالحسبان المحرف الفارغ على أنه جزء من السلسلة `s1` وتُعيد فراغ إن لم يُعثر على تطابق.
- دالة `strspn`: تُعيد طول الجزء الأولي ضمن السلسلة `s1` الذي يتألف كاملًا من محارف السلسلة `s1`.
- دالة `strstr`: تُعيد مؤشرًا إلى أول تطابق للسلسلة `s2` ضمن السلسلة `s1` أو تُعيد فراغ إن لم يُعثر على تطابق.
- دالة `strtok`: تقسّم السلسلة النصـية `s1` إلى "رمـوز tokens" يُحـدّد كـل منهـا بمحـرف من محـارف السلسلة `s2` وتُعيد مؤشرًا يشير إلى الرمز الأول أو فراغًا إن لم يوجد أي رمـوز. تُعيـد اسـتدعاءات لاحقـة للدالة باستخدام `0(char *)` قيمةً للوسيط `s1` الرمز التالي ضمن السلسـلة، إلا أن `s2` (المُحـدِّد) قـد يختلف عند كل استدعاء، ويُعاد مؤشر فارغ إذا لم يبق أي رمز.

## 9.16.4 دوال متنوعة أخرى

هناك بعض الدوال الأخرى التي لا تنتمي لأي من التصنيفات السابقة:

```
void *memset(void *s, int c, size_t n);
char *strerror(int errnum);
size_t strlen(const char *s);
```

- دالة `memset`: تضبط `n` بايت يشير إليها المؤشر `s` إلى قيمة المحرف `c` وهو من النوع `unsigned char`، وتُعيد الدالة المؤشر `s`.
- دالة `strlen`: تُعيد طول السلسلة النصية `s` دون احتساب المحرف الفارغ في نهاية السلسلة، وهي دالة شائعة الاستخدام.
- دالة `strerror`: تُعيد مؤشرًا يشير إلى سلسلة نصية تصف الخطأ رقم `errnum`، وقد تُعدَّل هذه السلسلة النصية عن طريق استدعاءات لاحقة للدالة `sterror`، وتعدّ هذه الدالة مفيدةٌ لمعرفة معنى قيم `errno`.

## 9.17 التاريخ والوقت

تتعامل هذه الدوال إما مع الوقت المُنقضي elapsed time، أو وقت التقويم calendar time ويحتوي ملف الترويسة `<time.h>` على تصريح كلا النوعين من الدوال بالاعتماد على التالي:

- القيمة `CLOCKS_PER_SEC`: عدد الدقات ticks في الثانية المُعادة من الدالة `clock`.
- النوعين `clock_t` و `time_t`: أنواع حسابية تُستخدم لتمثيل تنسيقات مختلفة من الوقت.
- الهيكل `struct tm`: يُستخدم لتخزين القيمة المُمثّلة لأوقات التقويم، ويحتوي على الأعضاء التالية:

```
int tm_sec      // الثواني بعد الدقيقة من 0 إلى 61، وتسمح 61 بثانيتين كبيستين -leap
second
int tm_min      // الدقائق بعد الساعة من 0 إلى 59
int tm_hour     // الساعات بعد منتصف الليل من 0 إلى 23
int tm_mday     //اليوم في الشهر من 1 إلى 31
int tm_mon      // الشهر في السنة من 0 إلى 11
int tm_year     // السنة الحالية من 1900
int tm_wday     // الأيام منذ يوم الأحد من 0 إلى 6
int tm_yday     // الأيام منذ الأول من يناير من 0 إلى 365
int tm_isdst    // مؤشر التوقيت الصيفي
```

يكون العنصر `tm_isdst` موجبًا إذا كان التوقيت الصيفي daylight savings فعّالًا، وصفر إن لم يكن كذلك، وسالبًا إن لم تكن هذه المعلومة متوفرة.

إليك دوال التلاعب بالوقت:

```
#include <time.h>

clock_t clock(void);
```

```
double difftime(time_t time1, time_t time2);
time_t mktime(struct tm *timeptr);
time_t time(time_t *timer);
char *asctime(const struct tm *timeptr);
char *ctime(const time_t *timer);
struct tm *gmtime(const time_t *timer);
struct tm *localtime(const time_t *timer);
size_t strftime(char *s, size_t maxsize,
  const char *format,
  const struct tm *timeptr);
```

تتشارك كل من الدوال `asctime` و `ctime` و `gmtime` و `localtime` و `strftime` بهياكل بيانات ساكنة static من نوع `struct tm` أو من نوع `char []`، وقد يتسبب استدعاء أحد منها بعملية الكتابة فوق البيانات المخزنة بسبب استدعاء سابق لإحدى الدوال الأخرى، ولذلك يجب على مستخدم الدالة نسخ المعلومات إذا كان هذا سيسبب أية مشاكل.

- الدالة `clock`: تُعيد أفضل تقريب للوقت الذي انقضى منذ تشغيل البرنامج مقدرًا بدقات الساعة ticks، وتُعاد القيمة `(clock_t)-1` إذا لم يُعثر على أي قيمة. من الضروري العثور على الفرق بين وقت بداية تشغيل البرنامج والوقت الحالي إذا أردنا إيجاد الوقت المُنقضي اللازم لتشغيل البرنامج، وهناك ثابتٌ معرفٌ حسب التنفيذ يعدل على القيمة المُعادة من `clock`. يجب تقسيم القيمة على `CLOCKS_PER_SEC` لتحديد الوقت بالثواني.
- الدالة `difftime`: تُعيد الفرق بين وقت تقويم ووقت تقويم آخر بالثواني.
- الدالة `mktime`: تُعيد وقت تقويم يوافق القيم الموجودة في هيكل يشير إلى المؤشر `timeptr`، أو تُعيد القيمة `(time_t)-1` إذا لم يكن من الممكن تمثيل القيمة. يُتجاهل العضوان `tm_wday` و `tm_yday`، ولا تُقيَّد باقي الأعضاء بقيمهم الاعتيادية، إذ يُضبط أعضاء الهيكل إلى قيم مناسبة ضمن النطاق الاعتيادي عند التحويل الناجح، وهذه الدالة مفيدة للعثور على التاريخ والوقت الموافق لقيمة من نوع `time_t`.
- الدالة `time`: تُعيد أفضل تقريب لوقت التقويم الحالي باستخدام ترميز غير محدد unspecified encoding، وتُعيد القيمة `(time_t)-1` إذا كان الوقت غير متوفر.
- الدالة `asctime`: تُحول الوقت ضمن هيكل يشير إليه المؤشر `timptr` إلى سلسلة نصية بالتنسيق التالي:

```
Sun Sep 16 01:03:52 1973\n\0
```

المثال السابق مأخوذٌ من المعيار، إذ يعرِّف المعيار الخوارزمية المستخدمة أيضًا، إلا أنـه من المهم ملاحظـة أن جميع الحقول ضمن السلسلة النصية ذات عرض ثابت وينطبق اسـتخدامها على المجتمعـات الـتي تتحـدث باللغة الإنجليزية فقط. تُخزّن السلسلة النصية في هيكل ساكن static structure ويُمكن إعادة كتابته عن طريق استدعاءات لاحقة لأحد دوال التلاعب بالوقت (المذكورة أعلاه).

- الدالة `ctime`: تكـافئ عمـل `asctime(localtime(timer))`. اقـرأ عن الدالـة `asctime` لمعرفـة القيمة المُعادة.
- الدالة `gmtime`: تُعيد مؤشرًا إلى `struct tm`، إذ يُضبط هذا المؤشر إلى وقت التقويم الذي يشير إليه المؤشر `timer`، ويُمثل الوقت بحسب شروط التوقيت العالمي المُنسّـق Coordinated Universal Time -أو اختصارًا UTC-، أو المسمى سابقًا بتوقيت جـرينتش Greenwich Mean Time، ونحصـل على مؤشر فارغ إذا كان توقيت UTC غير مُتاح.
- الدالة `localtime`: تحوّل الوقت الذي يشير إليه المؤشر `timer` إلى التوقيت المحلي وتُخزن النتيجـة في `struct tm` وتُعيد مؤشرًا يشير إلى ذلك الهيكل.
- الدالة `strftime`: تملأ مصفوفة المحارف التي يشير إليهـا المؤشـر `s` بـمقدار `maxsize` محـرف على الأكثر، وتُستخدم السلسلة النصية `format` لتنسيق الوقت المُمثّل في الهيكل الذي يشير إليه المؤشـر `timeptr`، تُنسخ المحارف الموجودة في سلسلة التنسيق النصية (متضمنة المحرف الفارغ في نهايـة السلسلة) دون أي تغيير إلى المصفوفة إلا إن كان وجِد توجيـه تنسـيق من التوجيهـات التاليـة، فعنـدها تُنسخ القيمة المُحددة ضمن الجدول إلى المصفوفة الهدف بما يوافق الإعدادات المحلية.

الجدول 26: محددات الحجم

| | |
|---|---|
| %a | اسم يوم الأسبوع باختصار |
| %A | اسم يوم الأسبوع كاملًا |
| %b | اسم الشهر باختصار |
| %B | اسم الشهر كاملًا |
| %c | تمثيل التاريخ والوقت |
| %d | تمثيل يوم الشهر عشريًا من 01 إلى 31 |
| %H | الساعة من 00 إلى 23 (تنسيق 24 ساعة) |
| %I | الساعة من 01 إلى 12 (تنسيق 12 ساعة) |
| %j | يوم السنة من 001 إلى 366 |
| %m | الشهر من 01 إلى 12 |
| %M | الدقيقة من 00 إلى 59 |

| | |
|---|---|
| %p | مكافئة PM أو AM المحلي |
| %S | الثانية من 00 إلى 61 |
| %U | ترتيب الأسبوع ضمن السنة من 00 إلى 53 -الأحد هو اليوم الأول- |
| %w | يوم الأسبوع من 0 إلى 6 (الأحد مُمثّل بالرقم 0) |
| %W | ترتيب الأسبوع ضمن السنة من 00 إلى 53 -الاثنين هو اليوم الأول- |
| %x | تمثيل التاريخ محليًا |
| %X | تمثيل الوقت محليًا |
| %y | السنة دون سابقة القرن من 00 إلى 99 |
| %Y | السنة مع سابقة القرن |
| %Z | اسم المنطقة الزمنية، لا نحصل على محارف إن لم يكن هناك أي منطقة زمنية |
| %% | محرف % |

يُعاد عدد المحارف الكلية المنسوخة إلى `s*` باستثناء محرف الفراغ في نهاية السلسلة، وتُعـاد القيمـة صـفر إذا لم يكن هناك أي مساحة (بحسب قيمة `maxsize`) للمحرف الفار غ في النهاية.

## 9.18 الخاتمة

سيكون لتوحيد مكتبات وقت التشغيل run-time libraries التأثير الأكبر على قابلية نقل برامج لغة سي C بلا أي شك، ويجب أن يقرأ جميع مستخدمو لغة سي هذا الفصل بحرص وأن يألفوا محتوياته، إذ يُعد نقص عـدد المكتبات القابلة للنقل من أكبر المشاكل لتحقيق برامج يمكن نقلها.

يـا لحظّ ك العـاثر إن كنت تكتب برامجًـا للأنظمـة المدمجـة، إذ أن المكتبـات ليسـت مُعرّفـة للتطبيقـات المسـتقلة stand-alone applications، إلا أننـا نتوقـع من المـزودين أن يُنتجـوا حـزم مكتبـات للتطبيقـات المستقلة أيضًا، وهي على الأغلب ستأتي دون إمكانية التعامل مع الملفات، ومع قولنا هذا إلا أنه لا يوجد هنـاك أي سبب في عدم عمل دوال التعامل مع السلاسل النصية -على سبيل المثال- على النحو ذاتـه الـتي تعمـل في البيئات المُستضافة hosted وغير المستضافة unhosted.


# أكبر موقع توظيف عن بعد في العالم العربي

ابحث عن الوظيفة التي تحقق أهدافك وطموحاتك
المهنية في أكبر موقع توظيف عن بعد

تصفح الوظائف الآن

# 10. تطبيقات عملية

بعد أن تكلمنا عن المكتبات القياسية المعرفة حسب المعيار، لم يبقَ إلا توضيح هيئة البرامج الكاملة المكتوبة بهذه اللغة، وسنتطرق في هذا الفصل إلى بعض الأمثلة التي توضح كيفية جمع هذه العناصر لبناء البرامج.

إلا أن هناك بعض النقاط التي يجب مناقشتها في لغة سي قبل عرض هذه الأمثلة.

## 10.1 وسطاء الدالة main

تقدم وسطاء الدالة `main` فرصةً مفيدةً لكل من يكتب البرامج ويشغلها في بيئة مُستضافة hosted environment وذلك بإعطاء المعاملات للبرنامج، ويُستخدم ذلك عادةً لتوجيه البرنامج لكيفية تنفيذ مهامه، ومن الشائع أن تكون هذه المعاملات هي أسماء ملفات تُمرّر مثل وسيط.

يبدو تصريح الدالة `main` على النحو التالي:

```
int main(int argc, char *argv[]);
```

يُشير التصريح إلى أن الدالة `main` تُعيد عددًا صحيحًا، وتُمرّر هذه القيمة عادةً، أو حالة الخروج exit status في البيئات المُستضافة، مثل أنظمة دوس DOS أو يونيكس UNIX إلى مفسّر سطر الأوامر command line interpreter، فعلى سبيل المثال تُستخدم حالة الخروج في نظام يونيكس للدلالة على إتمام البرنامج لمهمته بنجاح (تمثلّه القيمة صفر)، أو حدوث خطأ أثناء التنفيذ (تمثّله قيمة غير صفرية). اتّبع المعيار هذا الاصطلاح أيضًا، إذ تُستخدم `exit(0)` لإعادة حالة النجاح إلى البيئة المُستضافة وأي قيمة أخرى تدلّ على حدوث خطأ ما، وستُترجم `exit` القيمة لمعناها إذا كانت البيئة المستضافة تستخدم اصطلاحًا مخالفًا. بما أن الترجمة معرفة

حسب التنفيذ، فمن الأفضل استخدام القيمتان المُعرّفتان في ملف الترويسة <stdlib.h>، وهما: EXIT_SUCCESS و EXIT_FAILURE.

هناك على الأقل وسيطان للدالة main، وهُما: argc و argv، إذ يدل أولهما على عدد الوسطاء المزودة للبرنامج، بينما يدل الثاني على مصفوفة من المؤشرات تشير إلى سلاسل نصية تمثّل الوسطاء، وهي من النوع "مصفوفة من المؤشرات تشير إلى محرف char"، وتُمرّر هذه الوسطاء إلى البرنامج باستخدام مفسّر سطر الأوامر الخاص بالبيئة المُستضافة، أو لغة التحكم بالوظائف job control language.

يُعدّ تصريح الوسيط argv أوّل مصادفة للمبرمجين المبتدئين مع المؤشرات التي تشير إلى مصفوفات من المؤشرات، وقد يكون هذا محيّرًا بعض الشيء في البداية، إلا أن الأمر بسيط الفهم. بما أن argv تُستخدم للإشارة إلى مصفوفة السلاسل النصية، يكون تصريحها على النحو التالي:

```
char *argv[]
```

تذكر أيضًا أن اسم المصفوفة يُحوّل إلى عنوان أول عنصر ضمنها عندما تُمرّر إلى دالة، وهذا يعني أنه يمكننا التصريح عن argv كما يلي: char **argv والتصريحان يؤديان الغرض ذاته في هذه الحالة.

سترى تصريح الدالة main مكتوبًا بهذه الطريقة معظم الأحيان، والتصريح التالي مكافئ للتصريح السابق:

```
int main(int argc, char **argv);
```

تُهيَّأ وسطاء الدالة main عند بداية تشغيل البرنامج على نحوٍ موافق للشروط التالية:

- الوسيط argc أكبر من الصفر.
- يمثّل argv[argc] مؤشرًا فارغًا null.
- تمثّل العناصر بدءًا من argv[0] وصولًا إلى argv[argc-1] مؤشرات تشير إلى سلاسل نصية يُحدِّد البرنامج معناها.
- يحتوي العنصر argv[0] السلسلة النصية التي تحتوي اسم البرنامج أو سلسلة نصية فارغة إذا لم تكن هذه المعلومة متاحة، وتمثل العناصر المتبقية من argv الوسطاء المزودة للبرنامج. يُزوّد محتوى السلاسل النصية إلى البرنامج بحالة الأحرف الصغيرة lower-case في حال توفر الدعم فقط للأحرف الوحيدة single.

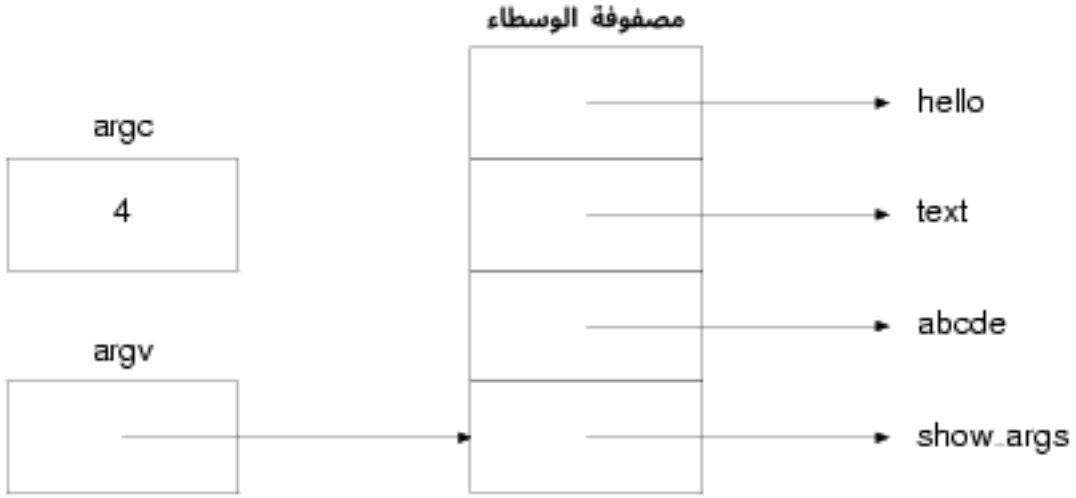
لتوضيح هذه النقطة، إليك مثالًا عن برنامج يكتب وسطاء الدالة main إلى خرج البرنامج القياسي:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

```

```
int main(int argc, char **argv)
{
        while(argc--)
                printf("%s\n", *argv++);
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

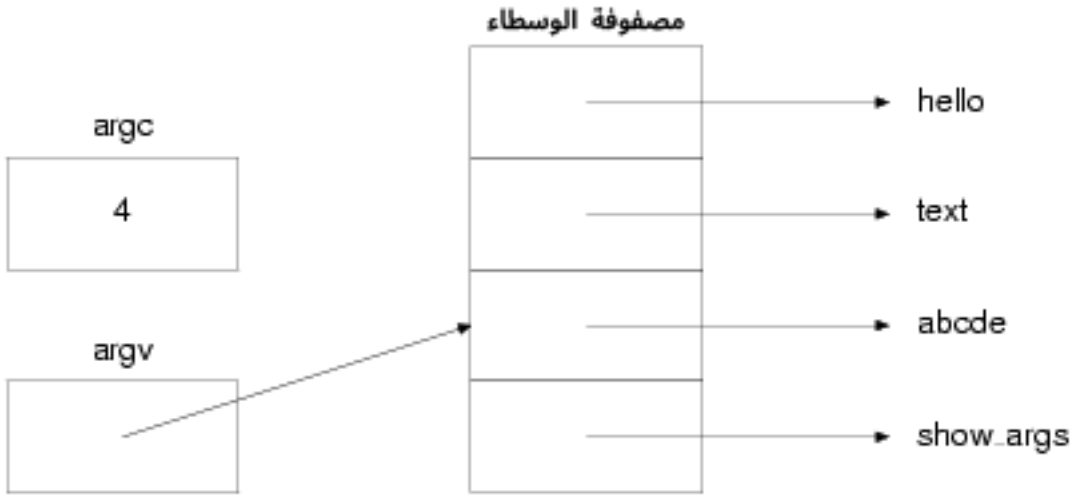
[مثال 1]

إذا كان اسم البرنامج `show_args` وكانت وسطاءه `abcde` و `text` و `hello` عنـد تشـغيله، سـتكون حالـة الوسطاء وقيمة `argv` موضّحة في الشكل التالي:




الشكل 14: وسطاء البرنامج

تنتقل `argv` إلى العنصر التالي عند كل زيادة لها، وبالتالي وبعد أول تكرار للحلقة ستُشير `argv` إلى المؤشـر الذي بدوره يشير إلى الوسيط `abcde`، وهذا الأمر موضح بالشكل التالي:




الشكل 15: وسطاء البرنامج بعد زيادة `argv`

سيعمل البرنامج على النظام الذي جرّبنا فيه البرنامج السابق عن طريق كتابة اسمه، ثم كتابة وسطاءه وفصلهم بمسافات فارغة. إليك ما الذي يحدث (الرمز `$` هو رمز الطرفية):

```
$ show_args abcde text hello
show_args
abcde
text
hello
$
```

## 10.2 تفسير وسطاء البرنامج

الحلقة المُستخدمة لفحص وسطاء البرنامج في المثال السابق شائعة الاستخدام في برامج سي C وستجدها في العديد من البرامج الأخرى، ويُعد استخدام "الخيارات options" للتحكم بسلوك البرنامج طريقةً شائعة أيضًا (تُدعى أيضًا في بعض الأحيان المُبدّلات switches أو الرايات flags)، إذ يدل الوسيط الذي يبدأ بالمحرف `-` على أنه وسيط يقدّم حرفًا وحيدًا أو أكثر يشير إلى خيار، ويمكن تشغيل الخيارات سويًا أو على نحوٍ منفرد:

```
progname -abxu file1 file2
progname -a -b -x -u file1 file2
```

يحدّد كلًا من الخيارات جانبًا معينًا من مزايا البرنامج، وقد يُسمح لكل خيار بأخذ وسيط خاص به امتدادًا لهذه الفكرة، فعلى سبيل المثال إذا كان الخيار `-x` يأخذ وسيطًا خاصًا به، سيبدو ذلك على النحو التالي:

```
progname -x arg file1
```

وبذلك، فإن arg مرتبطة مع الخيار. تسمح لنا دالة options في الأسفل بأتمتة معالجة أسلوب الاستخدام هذا عن طريق الدعم الإضافي (شائع الاستخدام إلا أنه قد عفا عليه الزمن) لإمكانية تقديم خيـار الوسـيط مباشـرةً بعد حرف الخيار كما يلي:

```
progname -xarg file1
```

تُعيد برامج الخيارات السـابقة في كـلٍّ من الحـالتين المحـرف 'x' وتضـبط المؤشـر العـام global المسـمى OptArg ليشير إلى القيمة arg.

يجب أن يقدم البرنامج لائحةً من أحرف الخيارات الصالحة بهيئة سلسلة نصية حتى نستطيع استخدام برامج الخيارات، عندما يُلحق حرفٌ ضمن هذه السلسلة النصية بالنقطتين ':'، فهذا يعني أن ما يتبـع حـرف الخيـار هـو وسيط. يُستدعى برنامج options مرارًا عند تشغيل البرنامج حتى انتهاء أحرف الخيار.

يبدو أن الدوال التي تقرأ السلاسل النصية وتبحث عن تشكيلات مختلفة أو أنمـاط ضـمن السلسـلة صـعبة القراءة، وإن كان في ذلك عزاءً لكن ليست عملية القراءة بتلك البسـاطة فعليًـا، والشـيفرة البرمجيـة الـتي تطبّـق الخيارات هي واحدةٌ من هذه الدوال، إلا أنها ليست الأصعب ضمن هذا التصنيف.

تفحص الدالة options() أحرف الخيار ووسطاء الخيار من قائمة argv، وتُعيد استدعاءات متتابعة للدالة أحرف خيار متتابعة متوافقة مع واحدة من بنود القائمة legal. قد تتطلب أحرف الخيار وسطاء خيار ويُشـار إلى ذلك بالنقطتين ':' اللتين تتبعان الحرف في القائمة legal. على سبيل المثال، تشير لائحة legal التي تحتوي على "ab:c" على أن a و b و c جميعها خيارات صالحة وأن b تأخذ وسيط خيار، ويُمرّر وسـيط الخيـار فيمـا بعـد إلى الدالة التي استُدعيت سابقًا في قيمة المؤشر العام المُسمّى OptArg. يُعطي OptIndex السلسلة النصـية التالية في مصفوفة argv[] التي لم تُعالج بعد من قبل الدالة options().

تُعيد الدالة options() القيمة 1- إذا لم يكُن هناك أي أحـرف خيـار أخـرى، أو إذا عُـثر على SwitchChar مضاعف، ويُجبر ذلك الدالة options() على إنهاء عملية معالجة الخيارات؛ بينما تُعيد ? إذا كان هناك خيــار لا ينتمي إلى مجموعة legal، أو إذا عُثر على خيار ما يحتاج لوسيط دون وجود وسيط يتبعه.

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>

static const char SwitchChar = '-';
static const char Unknown = '?';

int OptIndex = 1;       // يجب أن يكون أول خيار هو argv[1]
char *OptArg = NULL;    // مؤشر عام لوسيط الخيار
```

```
int options(int argc, char *argv[], const char *legal)
{
        static char *posn = "";  // argv[OptIndex] الموضع في
        char *legal_index = NULL;
        int letter = 0;

        if(!*posn){
  // لا يوجد المزيد من args أو SwitchChar أو حرف خيار
                        if((OptIndex >= argc) ||
                (*(posn = argv[OptIndex]) != SwitchChar) ||
                !*++posn)
                        return -1;
                // إيجاد SwitchChar مضاعف
                if(*posn == SwitchChar){
                        OptIndex++;
                        return -1;
                }
        }
        letter = *posn++;
        if(!(legal_index = strchr(legal, letter))){
                if(!*posn)
                        OptIndex++;
                return Unknown;
        }
        if(*++legal_index != ':'){
                /*لا يوجد وسيط للخيار */
                OptArg = NULL;
                if(!*posn)
                        OptIndex++;
        } else {
                if(*posn)
                        // لا يوجد مسافة فارغة بين opt و opt arg
                        OptArg = posn;
                else
                        if(argc <= ++OptIndex){
                                posn = "";
```

```
                                return Unknown;
                        } else
                                OptArg = argv[OptIndex];
                posn = "";
                OptIndex++;
        }
        return letter;
}
```

[مثال 2]

## 10.3 برنامج لإيجاد الأنماط

نقدّم في هذا القسم برنامجًا كاملًا يستخدم أحرف الخيار مثل وسطاء للبرنامج بهدف التحكم بطريقة عمله.

يُعالج البرنامج أولًا أي وسيط يمثل خيارًا، ويُحفظ الوسيط الأول -ليس خيار- بكونه "سلسلة بحث نصية search string"، في حين تُستخدم أي وسطاء أخرى متبقية لتحديد أسماء الملفات التي يجب أن تُقرأ دخلًا للبرنامج، وإذا لم يُعثر على أي اسم ملف فسيقرأ البرنامج من دخله القياسي بدلًا من ذلك، وإذا وُجد تطابق لسلسلة البحث النصية ضمن سطر من نص الدخل، يُطبع كامل السطر على الخرج القياسي.

تُستخدم الدالة `options` لمعالجة جميع أحرف الخيار المزودة للبرنامج، ويميّز برنامجنا هنا خمسة خيارات، هي: `-c` و `-i` و `-l` و `-n` و `-v`، ولا يُشترط لأي من الخيارات السابقة أن تُتبع بوسيط اختياري. يحدد الخيار -أو الخيارات- سلوك البرنامج عند تشغيله على النحو التالي:

- الخيار `-c`: يطبع البرنامج عدد الأسطر الكلية الموافقة لسلسلة البحث النصية التي عُثر عليها في ملف -أو ملفات- الدخل، ولا تُطبع أي أسطر نصية.
- الخيار `-i`: تُتجاهل حالة الأحرف لكل من سطر ملف الدخل وسلسلة البحث النصية عند البحث عن تطابق بينها.
- الخيار `-l`: يُطبع كل سطر نصي على الخرج مسبوقًا برقم السطر المفحوص في ملف الدخل الحالي.
- الخيار `-n`: يُطبع كل سطر نصي على الخرج مسبوقًا باسم الملف الذي يحتوي هذا السطر.
- الخيار `-v`: يطبع البرنامج الأسطر فقط دون مطابقة سلسلة البحث النصية المزودة.

يُعيد البرنامج بعد الانتهاء من تنفيذه حالةً تدل على واحدة من الحالات التالية:

- الحالة `EXIT_SUCCESS`: عُثر على تطابق واحد على الأقل.
- الحالة `EXIT_FAILURE`: لم يُعثر على أي تطابق، أو حدث خطأ ما.

يعتمد البرنامج جدًا على دوال المكتبة القياسية لإنجاز الجزء الأكبر من العمل، فعلى سبيل المثال تُعالج جميع الملفات باستخدام دوال `stdio`. لاحظ اعتماد جوهر البرنامج أيضًا على مطابقة السلاسل النصية باستخدام استدعاءات لدالة `strstr`.

إليك الشيفرة البرمجية الكاملة الخاصة بالبرنامج. حتى يعمل البرنامج، عليك طبعًا تصريفه مع الشيفرة البرمجية الخاصة به التي تعالج أحرف الخيارات، والتي استعرضناها سابقًا.

```
/*
برنامج بسيط يطبع الأسطر من ملف نصي بحيث يحوي ذلك السطر الكلمة المزودة في سطر الأوامر
*/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <ctype.h>

/*
* تصاريح لبرنامج الأنماط
*
*/

#define CFLAG 0x001      // احصِ عدد الأسطر المتطابقة فقط
#define IFLAG 0x002      // تجاهل حالة الأحرف
#define LFLAG 0x004      // اعرض رقم السطر
#define NFLAG 0x008      // اعرض اسماء ملفات الدخل
#define VFLAG 0x010      // اعرض السطور التي لاتتطابق

extern int OptIndex;     // argv[] الدليل الحالي للمصفوفة
extern char *OptArg;     /* مؤشر وسيط الخيار العام

/*
* main() جلب وسطاء سطر الأوامر إلى الدالة
*/

int options(int, char **, const char *);

/*
```

```
تسجيل الخيارات المطلوبة للتحكم بسلوك البرنامج
*/

unsigned set_flags(int, char **, const char *);

/*
تفقد كل سطر من الدخل لحالة المطابقة
*/

int look_in(const char *, const char *, unsigned);

/*
اطبع سطرًا من ملف الدخل إلى الخرج القياسي بالتنسيق المُحدد بواسطة خيارات سطر الأوامر
*/

void print_line(unsigned mask, const char *fname,
                int lnno, const char *text);


static const char
                /* الخيارات الممكنة للنمط */
        *OptString = "cilnv",
                /*الرسالة التي ستُعرض عندما تُدخل الخيارات بصورةٍ غير صحيحة*/
        *errmssg = "usage: pattern [-cilnv] word [filename]\n";

int main(int argc, char *argv[])
{
        unsigned flags = 0;
        int success = 0;
        char *search_string;

        if(argc < 2){
                fprintf(stderr, errmssg);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }
```

```
        flags = set_flags(argc, argv, OptString);

        if(argv[OptIndex])
                search_string = argv[OptIndex++];
        else {
                fprintf(stderr, errmssg);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        if(flags & IFLAG){
                /*تجاهل حالة الحرف والتعامل فقط مع الأحرف الصغيرة */
                char *p;
                for(p = search_string ; *p ; p++)
                        if(isupper(*p))
                                *p = tolower(*p);
        }

        if(argv[OptIndex] == NULL){
                // stdin لم يُزوّد أي اسم ملف، لذا نستخدم
                success = look_in(NULL, search_string, flags);
        } else while(argv[OptIndex] != NULL)
                success += look_in(argv[OptIndex++],
                                search_string, flags);

        if(flags & CFLAG)
                printf("%d\n", success);

        exit(success ? EXIT_SUCCESS : EXIT_FAILURE);
}

unsigned set_flags(int argc, char **argv, const char *opts)
{
        unsigned flags = 0;
        int ch = 0;

        while((ch = options(argc, argv, opts)) != -1){
```

```
                switch(ch){
                        case 'c':
                                flags |= CFLAG;
                                break;
                        case 'i':
                                flags |= IFLAG;
                                break;
                        case 'l':
                                flags |= LFLAG;
                                break;
                        case 'n':
                                flags |= NFLAG;
                                break;
                        case 'v':
                                flags |= VFLAG;
                                break;
                        case '?':
                                fprintf(stderr, errmssg);
                                exit(EXIT_FAILURE);
                }
        }
        return flags;
}


int look_in(const char *infile, const char *pat, unsigned flgs)
{
        FILE *in;
        /*
يخزن line[0] سطر الدخل كما يُقرأ
بينما يحول line[1] السطر إلى حالة أحرف صغيرة إن لزم الأمر
         */
        char line[2][BUFSIZ];
        int lineno = 0;
        int matches = 0;
```

```
        if(infile){
                if((in = fopen(infile, "r")) == NULL){
                        perror("pattern");
                        return 0;
                }
        } else
                in = stdin;

        while(fgets(line[0], BUFSIZ, in)){
                char *line_to_use = line[0];
                lineno++;
                if(flgs & IFLAG){
                        /* حالة تجاهل */
                        char *p;
                        strcpy(line[1], line[0]);
                        for(p = line[1] ; *p ; *p++)
                                if(isupper(*p))
                                        *p = tolower(*p);
                        line_to_use = line[1];
                }

                if(strstr(line_to_use, pat)){
                        matches++;
                        if(!(flgs & VFLAG))
                                print_line(flgs, infile, lineno,
line[0]);
                } else if(flgs & VFLAG)
                        print_line(flgs, infile, lineno, line[0]);
        }
        fclose(in);
        return matches;
}

void print_line(unsigned mask, const char *fname,
                        int lnno, const char *text)
{
        if(mask & CFLAG)
```

```
                return;
        if(mask & NFLAG)
                printf("%s:", *fname ? fname : "stdin");
        if(mask & LFLAG)
                printf(" %d :", lnno);
        printf("%s", text);
}
```

[مثال 3]

## 10.4 مثال أكثر طموحا

أخيرًا نقدّم هنا مجموعةً من البرامج المصمّمة للتلاعب بملف بيانات وحيد والتعامل معه بطريقة مترابطة وسليمة؛ إذ تهدف هذه البرامج لمساعدتنا بتتبع نتائج عدة لاعبين يتنافسون مع بعضهم بعضًا في لعبةٍ ما، مثل الشطرنج، أو الإسكواش على سبيل المثال.

يمتلك كل لاعب تصنيفًا من واحد إلى n، إذ تمثل n عدد اللاعبين الكلي وواحد تصنيف أعلى لاعب. يستطيع اللاعبون من تصنيف منخفض تحدي لاعبين آخرين فوق تصنيفهم وينتقل اللاعب إلى تصنيف اللاعب الآخر الأعلى منه إذا انتصر عليه، وفي هذه الحالة يُنقل اللاعب الخاسر وأي لاعبين آخرين بين اللاعب الخاسر والفائز إلى تصنيف واحد أقل، وتبقى التصنيفات مثل ما هي إن لم ينتصر اللاعب الأقل تصنيفًا.

لتقديم بعض الضوابط للتوازن في التصنيف، يمكن لأي لاعب أن يتحدى لاعبًا أعلى منه تصنيفًا، إلا أن التحديات مع اللاعبين ذوي التصنيف الذي يزيد عن ثلاثة أو أقل مراتب هي الوحيدة التي ستسمح لهذا اللاعب بالتقدم في التصنيف، وهذا من شأنه أن يُجبر اللاعبين الجدُد المضافين إلى أسفل التصنيف أن يلعبوا أكثر من لعبة واحدة للوصول إلى أعلى التصنيف.

هناك ثلاث مهام أساسية يجب تنفيذها للمحافظة على تتبع سليم لنتائج التصنيفات:

- طباعة التصنيف.
- إضافة لاعبين جدُد.
- تسجيل النتائج.

سيأخذ تصميم برنامجنا هنا صورة ثلاثة برامج جزئية لتنفيذ كل واحدة من هذه المهام على حدة، ومن الواضح بعد اتخاذنا لهذا القرار أن هناك عددًا من العمليات التي يحتاجها كل برنامج على نحوٍ مشترك بين البرامج الثلاث؛ فعلى سبيل المثال، ستحتاج البرامج الثلاثة إلى قراءة سجلات اللاعب من ملف البيانات وستحتاج اثنان من البرامج على الأقل لكتابة سجلات اللاعب إلى ملف البيانات.

قد يكون الخيار الجيد هنا هو تصميم مكتبة من الدوال التي تتلاعب بسجلات اللاعبين وملف البيانات، واستخدام هذه المكتبة مع البرامج الثلاثة للتعامل مع تصنيف اللاعبين، إلا أننا بحاجة تعريف هيكل البيانات الذي سيمثل سجلات اللاعب قبل ذلك. تتألف المعلومات الدنيا اللازمة لإنشاء سجل لكل لاعب من اسمه وتصنيفه، إلا أننا سنحتفظ بعدد التحديات التي فاز بها اللاعب، إضافةً للتحديات التي خسرها وآخر لعبة لعبها لمنح بعض الإمكانيات الإحصائية عند تشكيل لائحة التصنيف، ومن الواضح أن هذه المجموعة من المعلومات يجب تخزينها في هيكل ما.

نجد التصريح عن هيكل اللاعب والتصريح عن دوال مكتبة اللاعب في ملف الترويسة `player.h`، وتُخزّن البيانات في ملف البيانات مثل أسطر نصية، إذ يشير كل سطر إلى معلومات لاعب معين. يتطلب ذلك إجراء تحويلات الدخل والخرج، لكنها تقنيةٌ مفيدةٌ إذا لم تكلّف هذه التحويلات أداءً إضافيًا.

```
/*
*
* التصاريح والتعاريف للدوال التي تتلاعب بسجلات اللاعب بناءً على ترتيبهم
*
*/

#include <stddef.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

#define NAMELEN 12              /* الطول الأعظمي لاسم اللاعب */

#define LENBUF 256              /* الطول الأعظمي لذاكرة الدخل المؤقتة */

#define CHALLENGE_RANGE 3       //  عدد اللاعبين الأعلى تصنيفًا الذين من الممكن للاعب
أن يتحداهم ليزيد تصنيفه

extern char *OptArg;

typedef struct {
        char    name[NAMELEN+1];
        int     rank;
        int     wins;
        int     losses;
```

```
        time_t  last_game;
} player;

#define NULLPLAYER (player *)0

extern const char *LadderFile;

extern const char *WrFmt;       /* يُستخدم عند كتابة السجلات */
extern const char *RdFmt;       /* يُستخدم عند قراءة السجلات */

/*
تصاريح البرامج التي تُستخدم للتلاعب بسجلات اللاعب وملف لائحة التصنيف المعرفة في ملف
player.c
*/

int     valid_records(FILE *);
int     read_records(FILE *, int, player *);
int     write_records(FILE *, player *, int);
player *find_by_name(char *, player *, int);
player *find_by_rank(int, player *, int);
void    push_down(player *, int, int, int);
int     print_records(player *, int);
void    copy_player(player *, player *);
int     compare_name(player *, player *);
int     compare_rank(player *, player *);
void    sort_players(player *, int);
```

[مثال 4]

إليك شيفرة ملف `player.c` الذي يستخدم بعض الدوال العامة للتلاعب بسجلات اللاعبين وملف البيانات، ويمكن أن تُستخدم هذه الدوال مع برامج أخرى محدد لتشكيل ثلاثة برامج تتعامل مع لائحة النتائج.

لاحظ أنه يجب على كل برنامج أن يقرأ كامل البيانات من الملف إلى مصفوفة ديناميكية حتى نستطيع التلاعب بسجلات اللاعبين، ومن المفترض أن تكون جميع السجلات المحتواة داخل المصفوفة مُرتبةً حسب التصنيف قبل كتابتها مجددًا إلى ملف البيانات، وستولّد الدالة `push_down` بعض النتائج المثيرة للاهتمام إن لم تكن السجلات مرتبة.

```c
/*
* الدوال الاعتيادية المستخدمة للتلاعب ببيانات ملف لائحة النتائج وسجلات اللاعبين
*/

#include "player.h"

const char *LadderFile = "ladder";

const char *WrFmt = "%s %d      %d      %d      %ld\n";
const char *RdFmt = "%s %d      %d      %d      %ld";


/* تنبيه المستخدم بخصوص ضمّ السلاسل النصية */
const char *HeaderLine =
        "Player Rank Won Lost Last Game\n"
        "=============================================\n";

const char *PrtFmt = "%-12s%4d %4d %4d %s\n";

/*إعادة رقم السجلات الموجودة في الملف */

int valid_records(FILE *fp)
{
        int i = 0;
        long plrs = 0L;
        long tmp = ftell(fp);
        char buf[LENBUF];

        fseek(fp, 0L, SEEK_SET);

        for(i = 0; fgets(buf, LENBUF, fp) != NULL ; i++)
                ;

        /* استعادة مؤشر الملف إلى حالته الأصلية*/

        fseek(fp, tmp, SEEK_SET);
```

```
        return i;
}

// them قراءة القيمة num من سجل اللاعب من الملف fp إلى المصفوفة

int read_records(FILE *fp, int num, player *them)
{
        int i = 0;
        long tmp = ftell(fp);

        if(num == 0)
                return 0;

        fseek(fp, 0L, SEEK_SET);

        for(i = 0 ; i < num ; i++){
                if(fscanf(fp, RdFmt, (them[i]).name,
                                &((them[i]).rank),
                                &((them[i]).wins),
                                &((them[i]).losses),
                                &((them[i]).last_game)) != 5)
                        break;          // fscanf خطأ عند
        }

        fseek(fp, tmp, SEEK_SET);
        return i;
}

// them كتابة num الخاص بسجل اللاعب إلى الملف fp من المصفوفة

int write_records(FILE *fp, player *them, int num)
{
        int i = 0;

        fseek(fp, 0L, SEEK_SET);
```

```
        for(i = 0 ; i < num ; i++){
                if(fprintf(fp, WrFmt, (them[i]).name,
                                (them[i]).rank,
                                (them[i]).wins,
                                (them[i]).losses,
                                (them[i]).last_game) < 0)
                        break;          // fprintf خطأ عند
        }

        return i;
}

/*
name إعادة مؤشر يشير إلى اللاعب في المصفوفة them ذو اسم مطابق للقيمة
*/

player *find_by_name(char * name, player *them, int num)
{
        player *pp = them;
        int i = 0;

        for(i = 0; i < num; i++, pp++)
                if(strcmp(name, pp->name) == 0)
                        return pp;

        return NULLPLAYER;
}

/*
rank إعادة مؤشر يشير إلى لاعب في مصفوفة them تُطابق رتبته القيمة
*/

player *find_by_rank(int rank, player *them, int num)
{
        player *pp = them;
        int i = 0;
```

```
        for(i = 0; i < num; i++, pp++)
                if(rank == pp->rank)
                        return pp;

        return NULLPLAYER;
}

/*
خفّض رتبة جميع اللاعبين في مصفوفة them إذا كانت رتبتهم بين start و end
*/

void push_down(player *them, int number, int start, int end)
{
        int i;
        player *pp;

        for(i = end; i >= start; i--){
        if((pp = find_by_rank(i, them, number)) == NULLPLAYER){
                fprintf(stderr,
                        "error: could not find player ranked %d\n",
i);
                free(them);
                exit(EXIT_FAILURE);
        } else
                (pp->rank)++;
        }
}

// طباعة سجل اللاعب num بصورةٍ مُنسّقة من المصفوفة them

int print_records(player *them, int num)
{
        int i = 0;

        printf(HeaderLine);

        for(i = 0 ; i < num ; i++){
```

```
                if(printf(PrtFmt,
                        (them[i]).name, (them[i]).rank,
                        (them[i]).wins, (them[i]).losses,
                        asctime(localtime(&(them[i]).last_game))) < 0)
                        break;          /* error on printf! */
        }

        return i;
}

/* نسخ القيم من لاعب إلى آخر */

void copy_player(player *to, player *from)
{
        if((to == NULLPLAYER) || (from == NULLPLAYER))
                return;

        *to = *from;
        return;
}

/* مقارنة اسم اللاعب الأول مع اسم اللاعب الثاني */

int compare_name(player *first, player *second)
{
        return strcmp(first->name, second->name);
}

/* مقارنة رتبة اللاعب الأول مع رتبة اللاعب الثاني */

int compare_rank(player *first, player *second)
{
        return (first->rank - second->rank);
}

// them ترتيب num الذي يدل على سجل اللاعب في المصفوفة
```

```
void sort_players(player *them, int num)
{
        qsort(them, num, sizeof(player), compare_rank);
}
```

[مثال 5]

صُرّفت الشيفرة السابقة عند تجربتها إلى كائن ملف object file، الذي كان مربوطًا (مع كائن ملف يحتوي على الشيفرة البرمجية الخاصة بالدالة options) بواحدٍ من البرامج الثلاثة الخاصة بالتعامل مع لائحة النتائج.

إليك الشيفرة البرمجية لواحدة من أبسط البرامج هذه، ألا وهو "showlddr"، الذي تحتوي على الملف "showlddr.c". يأخذ هذا البرنامج خيارًا واحدًا وهو -f وقد تلاحظ أن هذا الخيار يأخذ وسيطًا اختياريًا أيضًا، والهدف من هذا الوسيط هو السماح بطباعة ملف بيانات لائحة التصنيف باستخدام اسم مغاير للاسم الافتراضي ladder.

يجب أن تُخزّن سجلات اللاعب في ملف البيانات قبل ترتيبها، إلا أن showddlr يرتبها قبل أن يطبعها فقط بهدف التأكُّد.

```
/*
برنامج يطبع حالة لائحة النتائج الحالية
*/

#include "player.h"

const char *ValidOpts = "f:";

const char *Usage = "usage: showlddr [-f ladder_file]\n";

char *OtherFile;

int main(int argc, char *argv[])
{
        int number;
        char ch;
        player *them;
        const char *fname;
        FILE *fp;
```

```
        if(argc == 3){
                while((ch = options(argc, argv, ValidOpts)) != -1){
                        switch(ch){
                                case 'f':
                                        OtherFile = OptArg;
                                        break;
                                case '?':
                                        fprintf(stderr, Usage);
                                        break;
                        }
                }
        } else if(argc > 1){
                fprintf(stderr, Usage);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        fname = (OtherFile == 0)? LadderFile : OtherFile;
        fp = fopen(fname, "r+");

        if(fp == NULL){
                perror("showlddr");
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        number = valid_records (fp);

        them = (player *)malloc((sizeof(player) * number));

        if(them == NULL){
                fprintf(stderr,"showlddr: out of memory\n");
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        if(read_records(fp, number, them) != number){
                fprintf(stderr, "showlddr: error while reading"
                                        " player records\n");
```

```
                free(them);
                fclose(fp);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        fclose(fp);

        sort_players(them, number);

        if(print_records(them, number) != number){
                fprintf(stderr, "showlddr: error while printing"
                                        " player records\n");
                free(them);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        free(them);
        exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

[مثال 6]

يعمل البرنـامج "showlddr" فقـط إذا كـان هنـاك ملـف بيانـات يحتـوي على سـجلات اللاعب بالتنسـيق الصحيح، ويُنشئ البرنامج "newplyr" ملفًا إذا لم يكن هنـاك أي ملـف مُسـبقًا ومن ثم يضـيف بيانـات اللاعب الجديد بالتنسيق الصحيح إلى ذلك الملف.

يُـدرج اللاعبـون الجُـدد عـادةً أسـفل التصـنيف إلا أن هنـاك بعض الحـالات الاسـتثنائية الـتي يسـمح فيها "newplyr" بإدراج اللاعبين وسط التصنيف.

يجب أن يظهر اللاعب مرةً واحدةً في التصنيف (إلا إذا تشابهت أسماء اللاعبين المستعارة) ويجب أن يكون لكل تصنيف لاعب واحد فقط، ولذا فإن البرنامج يفحص الإدخالات المتكررة وإذا كان من الواجب إدخال اللاعب الجديد إلى تصنيف مجاور لتصنيف اللاعبين الآخرين، يُزاح اللاعبون بعيدًا عن تصنيف اللاعب الجديد.

يتعرّف البرنامج "newplyr" على الخيار `-f` بصورةٍ مشابهة للبرنامج "showlddr"، ويفسـره على أنـه طلب إضـافة اللاعب الجديـد إلى ملـف يُسـمى باسـتخدام وسـيط الخيـار بـدلًا من اسـم الملـف الافتراضـي ألا وهو "ladder". يتطلب البرنامج "newplyr" أيضًا خيارين إضافيين ألا وهما `-n` و `-r` ويحدد كـل وسـيط خيـار اسـم اللاعب الجديد وتصنيفه الأوّلي بالترتيب.

```
/*
برنامج يُضيف لاعب جديد إلى لائحة التصنيفات، ويفترض أن تُسنِد رتبةً بقيمة واقعية إلى اللاعب
*/

#include "player.h"

const char *ValidOpts = "n:r:f:";

char *OtherFile;

static const char *Usage = "usage: newplyr -r rank -n name [-f file]\
n";

/* تصاريح مسبقة للدوال المعرفة في هذا الملف*/

void record(player *extra);

int main(int argc, char *argv[])
{
        char ch;
        player dummy, *new = &dummy;

        if(argc < 5){
                fprintf(stderr, Usage);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        while((ch = options(argc, argv, ValidOpts)) != -1){
                switch(ch){
                case 'f':
                        OtherFile=OptArg;
                        break;
                case 'n':
                        strncpy(new->name, OptArg, NAMELEN);
                        new->name[NAMELEN] = 0;
                        if(strcmp(new->name, OptArg) != 0)
                                fprintf(stderr,
```

```
                                        "Warning: name truncated to
%s\n", new->name);
                        break;
                case 'r':
                        if((new->rank = atoi(OptArg)) == 0){
                                fprintf(stderr, Usage);
                        exit(EXIT_FAILURE);
                        }
                        break;
                case '?':
                        fprintf(stderr, Usage);
                        break;
                }
        }

        if((new->rank == 0)){
                fprintf(stderr, "newplyr: bad value for rank\n");
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        if(strlen(new->name) == 0){
                fprintf(stderr,
                        "newplyr: needs a valid name for new player\
n");
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        new->wins = new->losses = 0;
        time(& new->last_game); // last_game أسند الوقت الحالي إلى

        record(new);

        exit(EXIT_SUCCESS);
}

void record(player *extra)
{
```

```
        int number, new_number, i;
        player *them;
        const char *fname =(OtherFile==0)?LadderFile:OtherFile;
        FILE *fp;

        fp = fopen(fname, "r+");

        if(fp == NULL){
                if((fp = fopen(fname, "w")) == NULL){
                        perror("newplyr");
                        exit(EXIT_FAILURE);
                }
        }

        number = valid_records (fp);
        new_number = number + 1;

        if((extra->rank <= 0) || (extra->rank > new_number)){
                fprintf(stderr,
                        "newplyr: rank must be between 1 and %d\n",
                        new_number);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        them = (player *)malloc((sizeof(player) * new_number));

        if(them == NULL){
                fprintf(stderr,"newplyr: out of memory\n");
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        if(read_records(fp, number, them) != number){
                fprintf(stderr,
                        "newplyr: error while reading player records\
n");
                free(them);
                exit(EXIT_FAILURE);
```

```
        }

        if(find_by_name(extra->name, them, number) != NULLPLAYER){
                fprintf(stderr,
                        "newplyr: %s is already on the ladder\n",
                        extra->name);
                free(them);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        copy_player(&them[number], extra);

        if(extra->rank != new_number)
                push_down(them, number, extra->rank, number);

        sort_players(them, new_number);

        if((fp = freopen(fname, "w+", fp)) == NULL){
                perror("newplyr");
                free(them);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        if(write_records(fp, them, new_number) != new_number){
                fprintf(stderr,
                        "newplyr: error while writing player records\
n");
                fclose(fp);
                free(them);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }
        fclose(fp);
        free(them);
}
```

[مثال 7]

البرنامج الأخير المطلوب هو البرنامج الذي يسجل نتائج الألعاب، ألا وهو برنامج "result".

يقبل "result" خيار `-f` كما هو الحال في البرنامجين الآخرين، مصحوبًا باسم الملف لتحديد بديل عن اسم ملف اللاعب الافتراضي.

يعرض برنامج "result" عملية الإدخال للاعبين الخاسرين والرابحين على نحوٍ تفاعلي على عكس برنامج "newplyr"، ويصرّ على أن الأسماء يجب أن تكون للاعبين موجودين مسبقًا. يجري التحقّق من الأسماء بعد إعطاء اسمين صالحين، وذلك فيما إذا كان الخاسر أعلى تصنيفًا من الفائز، أو أن الفائز ذو تصنيف مقارب مما يسمح له بتغيير تصنيفه؛ وإذا لزُم تغيير للتصنيف، يأخذ المنتصر رتبة الخاسر ويُخفّض الخاسر رتبةً واحدةً (إضافةً إلى أي لاعب من تصنيف متداخل).

إليك الشيفرة البرمجية الخاصة ببرنامج `result`.

```
/*
* برنامج يسجل النتائج
*
*/

#include "player.h"

/* تصريحات استباقية للدوال المعرفة في هذا الملف */
char *read_name(char *, char *);
void move_winner(player *, player *, player *, int);

const char *ValidOpts = "f:";

const char *Usage = "usage: result [-f file]\n";

char *OtherFile;

int main(int argc, char *argv[])
{
        player *winner, *loser, *them;
        int number;
        FILE *fp;
        const char *fname;
        char buf[LENBUF], ch;

        if(argc == 3){
```

```
                while((ch = options(argc, argv, ValidOpts)) != -1){
                        switch(ch){
                                case 'f':
                                        OtherFile = OptArg;
                                        break;
                                case '?':
                                        fprintf(stderr, Usage);
                                        break;
                        }
                }
        } else if(argc > 1){
                fprintf(stderr, Usage);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        fname = (OtherFile == 0)? LadderFile : OtherFile;
        fp = fopen(fname, "r+");
        if(fp == NULL){
                perror("result");
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        number = valid_records (fp);

        them = (player *)malloc((sizeof(player) * number));

        if(them == NULL){
                fprintf(stderr,"result: out of memory\n");
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        if(read_records(fp, number, them) != number){
                fprintf(stderr,
                        "result: error while reading player records\
n");
                fclose(fp);
                free(them);
```

```
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        fclose(fp);
        if((winner = find_by_name(read_name(buf, "winner"), them,
number))
                == NULLPLAYER){
                fprintf(stderr,"result: no such player %s\n",buf);
                free(them);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        if((loser = find_by_name(read_name(buf, "loser"), them,
number))
                == NULLPLAYER){
                fprintf(stderr,"result: no such player %s\n",buf);
                free(them);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }

        winner->wins++;
        loser->losses++;
        winner->last_game = loser->last_game = time(0);

        if(loser->rank < winner->rank)
                if((winner->rank - loser->rank) <= CHALLENGE_RANGE)
                        move_winner(winner, loser, them, number);

        if((fp = freopen(fname, "w+", fp)) == NULL){
                perror("result");
                free(them);
                exit(EXIT_FAILURE);
        }
        if(write_records(fp, them, number) != number){
                fprintf(stderr,"result: error while writing player
records\n");
                free(them);
```

```
                exit(EXIT_FAILURE);
        }
        fclose(fp);
        free(them);
        exit(EXIT_SUCCESS);
}

void move_winner(player *ww, player *ll, player *them, int number)
{
        int loser_rank = ll->rank;
        if((ll->rank - ww->rank) > 3)
                return;
        push_down(them, number, ll->rank, (ww->rank - 1));
        ww->rank = loser_rank;
        sort_players(them, number);
        return;
}

char *read_name(char *buf, char *whom)
{
        for(;;){
                char *cp;
                printf("Enter name of %s : ",whom);
                if(fgets(buf, LENBUF, stdin) == NULL)
                        continue;
                /* حذف السطر الجديد */
                cp = &buf[strlen(buf)-1];
                if(*cp == '\n')
                        *cp = 0;
                /* محرف واحد على الأقل */
                if(cp != buf)
                        return buf;
        }
}
```

[مثال 8]

## 10.5 الخاتمة

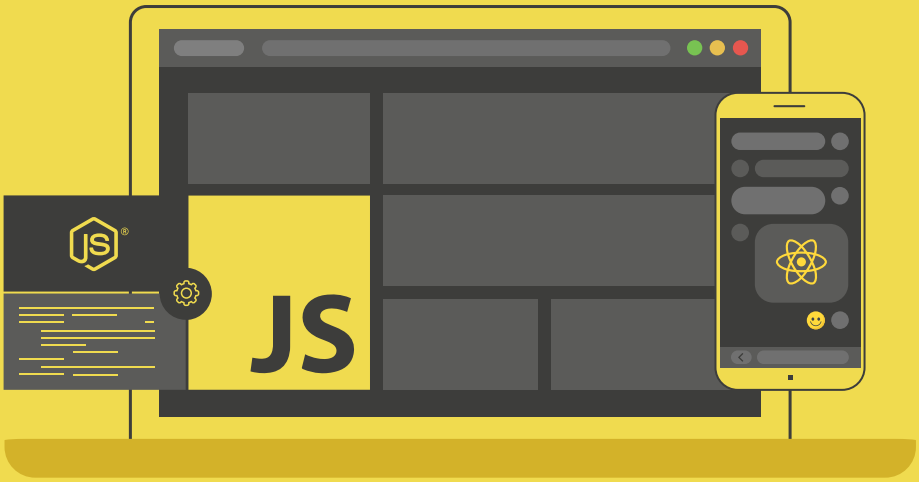
يجب أن تقدم لك البرامج المعروضة في هذا الفصل فهمًا أعمق لبرامج منتصف الطريق التي يمكن أن تُنجز باستخدام لغة سي C والمكتبات المعرفة في المعيار.

ما الذي نقصده بكلمة "منتصف الطريق"؟ ببساطة، صمّمنا وطبقنا وفحصنا ووثّقنا البرامج بحيث تناسب البرامج الصغيرة المحتواة داخل بعضها بعضًا، والتي لا تتطلب مرحلةً متقدمةً من الوثوقية والمتانة، إذ لا تتطلب الكثير من البرامج هذه المعايير، وفعل هذا يعني تعقيد الأمور على نحوٍ غير ضروري، ويعتمد الأمر بطبيعة الحال على الهدف النهائي من البرنامج.

هناك بعض الحالات التي لا بدّ فيها تحقيق بعض الأمور المتطلّبة، وهذا النوع من البرامج مُهندَس بصورةٍ دقيقة ويتطلب قدرًا أكبر بكثير من الجهد سواءً بهدف الفحص أو التجربة، إضافةً إلى التحكم بإمكانية الوصول إلى الشيفرة المصدرية على عكس متطلبات بعض البرامج البسيطة التي استعرضناها. تبدو الشيفرة المصدرية لهذا النوع من البرامج مختلفةً كثيرًا، فعلى الرغم من أنها قد تستخدم لغة البرمجة ذاتها إلا أنها تعتمد أكثر على التحقق من الأخطاء وتصحيحها، ونحن لم ننظر إلى هذا النوع من البرامج إطلاقًا هنا.

بغض النظر عن البيئة التي تعمل بها، نتمنى أن هذا الكتاب قد ساعدك في فهم لغة سي. حظًّا موفّقًا.

# دورة تطوير التطبيقات
# باستخدام لغة JavaScript




احترف تطوير التطبيقات بلغة جافا سكريبت
انطلاقًا من أبسط المفاهيم وحتى بناء تطبيقات حقيقية

**التحق بالدورة الآن**

# 11. حلول التمارين

## 11.1 الفصل الأول

### 11.1.1 التمرين الثاني

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){
   int this_number, divisor, not_prime;
   int last_prime;

   this_number = 3;
   last_prime = 3;

   printf("1, 3 is a prime pair\n");

   while(this_number < 10000){
      divisor = this_number / 2;
      not_prime = 0;
      while(divisor > 1){
         if(this_number % divisor == 0){
            not_prime = 1;
            divisor = 0;
```

```
            }
            else
               divisor = divisor-1;
         }

         if(not_prime == 0){
            if(this_number == last_prime+2)
               printf("%d, %d is a prime pair\n",
                  last_prime, this_number);
            last_prime = this_number;
         }
         this_number = this_number + 1;
      }
      exit(EXIT_SUCCESS);
   }
```

### 11.1.2 التمرين الثالث

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){
   printf("Type in a string: ");
   printf("The value was: %d\n", getnum());
   exit(EXIT_SUCCESS);
}

getnum(){
   int c, value;;
   value = 0;
   c = getchar();
   while(c != '\n'){
      value = 10*value + c - '0';
      c = getchar();
   }
   return (value);
}
```

### 11.1.3 التمرين الرابع

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

/* حجم المصفوفة */
#define NUMBER  10

main(){
   int arr[NUMBER], count, lo, hi;

   count = 0;
   while(count < NUMBER){
      printf("Type in a string: ");
      arr[count] = getnum();
      count = count+1;
   }
   lo = 0;
   while(lo < NUMBER-1){
      hi = lo+1;
      while(hi < NUMBER){
         int tmp;
         if(arr[lo] > arr[hi]){
            tmp = arr[lo];
            arr[lo] = arr[hi];
            arr[hi] = tmp;
         }
         hi = hi + 1;
      }
      lo = lo + 1;
   }
   /* طباعة العناصر */
   count = 0;
   while(count < NUMBER){
      printf("%d\n", arr[count]);
      count = count+1;
```

```
    }
    exit(EXIT_SUCCESS);
}

getnum(){
    int c, value;;

    value = 0;
    c = getchar();
    while(c != '\n'){
        value = 10*value + c - '0';
        c = getchar();
    }
    return (value);
}
```

### 11.1.4 التمرين الخامس

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

/*
علينا بناء مصفوفة من المحارف لطباعة قيمة int بالنظام الثنائي والست عشري والعشري بالترتيب
تُوجد القيم على أساس أقل الخانات أهمية أولًا، وتُطبع أكثر الخانات أهمية أولًا.
*/
#define NDIG    32      /* افتراض العدد الأعظمي من الخانات */

int getnum(void);

main(){
    int val, i, count;
    char chars[NDIG];

    i = getnum();

    /* الطباعة في النظام الثنائي */
    val = i;
```

```
    count = 0;
    do{
       chars[count] = val % 2;
       val = val / 2;
       count = count + 1;
    }while(val);
    count = count - 1; /* تزايدت للتو في الأعلى */

    while(count >= 0){
       printf("%d", chars[count]);
       count = count - 1;
    }
    printf("\n");

    /* الطباعة في النظام العشري */
    val = i;
    count = 0;
    do{
       chars[count] = val % 10;
       val = val / 10;
       count = count + 1;
    }while(val);
    count = count - 1; /*تزايدت للتو في الأعلى */

    while(count >= 0){
       printf("%d", chars[count]);
       count = count - 1;
    }
    printf("\n");

    /* الطباعة بالنظام الست عشري */
    val = i;
    count = 0;
    do{
       chars[count] = val % 16;
       val = val / 16;
```

```
      count = count + 1;
   }while(val);
   count = count - 1; /* تزايدت للتو أعلاه */

   while(count >= 0){
      if(chars[count] < 10)
         printf("%d", chars[count]);
      else{
         // بفرض `A` إلى `F` على نحوٍ تتابعي
         chars[count] = chars[count]-10+'A';
         printf("%c", chars[count]);
      }
      count = count - 1;
   }
   printf("\n");
   exit(EXIT_SUCCESS);
}

getnum(){
   int c, value;;

   value = 0;
   c = getchar();
   while(c != '\n'){
      value = 10*value + c - '0';
      c = getchar();
   }
   return (value);
}
```

## 11.2 الفصل الثاني

### 11.2.1 التمرين الأول

تُستخدم ثلاثيات المحارف trigraphs عند استخدام جهاز الدخل أو مجموعة محارف نظام الاستضافة host system's native character set التي لا تدعم محارف مختلفة كافية لتمثيل محارف لغة سي الأصيلة.

### 11.2.2 التمرين الثاني

لن تُستخدم ثلاثيات المحارف في نظام يحتوي على محارف مختلفة كافية لحجز محرف منفصل لكل من رموز لغة سي؛ وللحصول على قابلية نقل أفضل، قد نرى استخدام تمثيل ثلاثيات المحارف في برنامج بلغة سي عند توزيعه للسماح بمعظم الأنظمة التي لا تستخدم آسكي ASCII بقراءة البيانات المُرمزة بالآسكي وترجمتها إلى ترميزها الأصيل، ومن ثم تُصرّف باستخدام مصرّف لغة سي قياسي مباشرةً.

### 11.2.3 التمرين الثالث

لا تتكافأ محارف المسافة الفارغة مع بعضها داخل السلاسل النصية وثوابت المحارف، إذ أن محرف السطر الجديد له معنًى مميّز في المعالج المُسبق preprocessor.

### 11.2.4 التمرين الرابع

لاستكمال سطر طويل، خاصةً في الأنظمة التي لا تحتوي على حدٍ أعظمي لطول السطر الفيزيائي.

### 11.2.5 التمرين الخامس

تُصبح متصلة.

### 11.2.6 التمرين السادس

لأن */ التي تُنهي التعليق الداخلي تُنهي أيضًا التعليق الخارجي.

### 11.2.7 التمرين السابع

31 محرفًا للمتغيرات الداخلية وستة محارف للمتغيرات الخارجية، ولا يجب أن يعتمد الاسم ذو الست محارف على اختلاف الأحرف الكبيرة والصغيرة.

### 11.2.8 التمرين الثامن

يقدّم التصريح اسمًا ونوعًا لشيء ما، إلا أنه لا يحجز بالضرورة المساحة اللازمة له.

### 11.2.9 التمرين التاسع

التعريف هو تصريح يحجز مساحة.

### 11.2.10 التمرين العاشر

الحالة المحققة دائمًا هي أن النطاق الأكبر من القيم يُمكن تخزينه في عدد كبير مُضاعف long double على الرغم من أنه قد لا يختلف عن نوعٍ ما من أنواع الفاصلة العائمة الأصغر منه.

### 11.2.11 التمرين الحادي عشر

تنطبق الإجابة السابقة أيضًا على النوع ذي الدقة الأكبر: قيمة كبيرة مُضاعفة long double، إذ لا تسمح سي لمنفّذ اللغة language implementor باستخدام نفس عدد البتات في القيم المُضاعفة double والقيم الكبيرة المُضاعفة long double على سبيل المثال، ومن ثم حجز بتات أكثر للدقة في نوع ما وبتات أكثر للنطاق في نوع آخر.

### 11.2.12 التمرين الثاني عشر

لا يوجد هناك أي مشاكل بخصوص إسناد نوع فاصلة عائمة صغير إلى نوع آخر أكبر منه.

### 11.2.13 التمرين الثالث عشر

قد يتسبب إسناد نوع فاصلة عائمة كبير إلى نوع أقصر منه بحدوث طفحان وسلوك غير محدد.

### 11.2.14 التمرين الرابع عشر

السلوك غير المحدد هو سلوك لا يمكن توقعه إطلاقًا، إذ من الممكن حدوث أي شيء، وقد يبدو في بعض الأحيان أنه ما من شيء يحدث سوى القيم الحسابية الغريبة الناتجة.

### 11.2.15 التمرين الخامس عشر

1. النوع `signed int` عن طريق ترقية الأعداد الصحيحة.
2. لا يمكن توقُّع ذلك دون معرفة التطبيق؛ فإذا كان من الممكن للنوع `int` تخزين جميع القيم الممكن تخزينها في `unsigned char`، فهذا يعني أن النتيجة ستكون `int` عن طريق ترقية الأعداد الصحيحة أيضًا، وإلا فستكون `unsigned int`.
3. النوع `unsigned int`.
4. النوع `long`.
5. النوع `unsigned long`.
6. النوع `long`.
7. النوع `float`.
8. النوع `float`.
9. النوع `long double`.

## 11.2.16 التمرين السادس عشر

1. التعبير `i1 % i2`.
2. التعبير `i1 % (int)f1`.
3. إذا لم يكن أي من المعاملَين operand سالبين، فهذا يعـني أن الإشـارة معرفـةٌ بحسـب التطـبيق، وإلا فهي موجبة، وبالتالي لا يمكنك التنبؤ بالإشارة حتى لو كانت إشارتا المعاملين سالبة.
4. اثنان، نفي أحادي وطرح ثنائي.
5. التعليمة `i1 &= 0xf;`.
6. التعليمة `i1 |= 0xf;`.
7. التعليمة `i1 &= ~0xf;`.
8. التعليمة `i1 = ((i2 >> 4) & 0xf) | ((i2 & 0xf) << 4);`.
9. لا يمكن توقُّع النتيجة، إذ من الواجب عليك عدم استخدام المتغير نفسه أكثر من مرة داخل تعبير إذا كان التعبير يغيّر من قيمته.

## 11.2.17 التمرين السابع عشر

.1

```
(c = (( u * f) + 2.6L);
(int = ((float) + long double);
(int = (long double));
(int);
```

> قد لا تكون ترقية الأعداد الصحيحة للنوع `char` إلى `int` من النوع `unsigned char` بناءً على التطبيق.

.2

```
(u += (((--f) / u) % 3));
(unsigned += ((float / unsigned) % int));
(unsigned += (float % int));
(unsigned += float);
(unsigned);
```

.3

```
(i <<= (u * (- (++f))));
(int <<= (unsigned * (- float)));
(int <<= (unsigned * float));
(int <<= float);
(int);
```

تنص قوانين عوامل الإزاحة على أن المعامل الواقـع على يمين العامـل يجب تحويلـه دائمًـا إلى int، إلا أن ذلك لا يؤثر على النتيجة التي تكون من النوع المُحدد بحسب نوع المعامل الواقع على يسار العامل دائمًـا، وهـذا هو الحال في مثالنا بما أننا استخدمنا عامل الإسناد.

.4

```
(u = (((i + 3) + 4) + 3.1));
```

تنص القواعد على أن التعابير الجزئية التي تحتوي على + يمكن أن يُعاد تجميعها اعتباطيًا طالما أنه لا يوجـد أي تغيير للأنواع. والأنواع في التعبير السابق، هي:

```
(unsigned = (((int + int) + int) + double))
```

بالتالي يمكن إعادة تجميع عمليتي الجمع أقصى اليسار والعمل من اليسار:

```
(unsigned = ((int + int) + double));
(unsigned = (int + double));
(unsigned = double);
(unsigned);
```

.5

```
(u = (((3.1 + i) + 3 ) + 4));
```

راجع ما قلناه في الإجابة السابقة عن إعادة التجميع.

```
(unsigned = (((double + int) + int) + int));
```

يمكن إعادة تجميع عمليتي الجمع أقصى اليمين.

```
(unsigned = ((double + int) + int));
(unsigned = (double + int));
(unsigned = double);
(unsigned);
```

.6

```
(c = ((i << (- (--f))) & 0xf));
(char = ((int << (- (--float))) & int ));
(char = ((int << (- float)) & int ));
(char = ((int << float) & int));
(char = (int & int));
(char);
```

## 11.3 الفصل الثالث

### 11.3.1 التمرين الأول

تعطي جميعها نتيجةً صحيحةً من النوع `int` بقيمة `1` للدلالة على صواب true و`0` للدلالة على خطأ false.

### 11.3.2 التمرين الثاني

تعطي جميعها نتيجةً صحيحةً من النوع `int` بقيمة `1` للدلالة على صواب true و`0` للدلالة على خطأ false.

### 11.3.3 التمرين الثالث

تضمن ترتيب التقييم من اليسار إلى اليمين وتتوقف عملية التقييم حالما تصبح النتيجة الكلية ممكنة التحديد.

### 11.3.4 التمرين الرابع

يمكن استخدام `break` لتحويل تعليمة `switch` إلى مجموعة من الخيارات الاستثنائية.

### 11.3.5 التمرين الخامس

لا يوجد للتعليمة `continue` أي معنًى مميز في تعليمة `switch`، ولها معنًى فقط في تعليمة `do, while` أو `for` خارجية.

### 11.3.6 التمرين السادس

يمكن أن يسبب استخدام `continue` داخل تعليمة `while` عدم تحديث قيمة متغير الحلقة، ويقع تفادي هذا الخطأ على عاتق المبرمج.

### 11.3.7 التمرين السابع

لا يمكنك استخدام تعليمة `goto` للقفز من دالةٍ إلى أخرى وذلك لأن نطاق التسمية لا يمتد خارج الدالة التي تحتوي عليها، إلا أنه يمكنك استخدام دالة المكتبة `longjmp` التي استعرضناها في الفصل التاسع لتشكيل قفزةٍ من دالةٍ إلى أخرى.

## 11.4 الفصل الرابع

### 11.4.1 التمرين الأول

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

main(){
  int i, abs_val(int);;

  for(i = -10; i <= 10; i++)
    printf("abs of %d is %d\n", i, abs_val(i));
  exit(EXIT_SUCCESS);
}

int
abs_val(int x){

  if(x < 0)
    return(-x);
  return(x);
}
```

### 11.4.2 التمرين الثاني

تتشكل الإجابة على هذا التمرين من ملفَين، ما يلي هو الملف الأول:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int curr_line(void), curr_col(void);
void output(char);
```

```
main(){
  printf("line %d\n", curr_line());
  printf("column %d\n", curr_col());

  output('a');
  printf("column %d\n", curr_col());

  output('\n');
  printf("line %d\n", curr_line());
  printf("column %d\n", curr_col());
  exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

يحتوي الملف الثاني على الدوال والمتغيرات الساكنة:

```
#include <stdio.h>

int curr_line(void), curr_col(void);
void output(char);

static int lineno=1, colno=1;

int
curr_line(void){
  return(lineno);
}

int
curr_col(void){
  return(colno);
}

void
output(char a){
  putchar(a);
  colno++;
```

```
  if(a == '\n'){
    colno = 1;
    lineno++;
  }
}
```

### 11.4.3 التمرين الثالث

الدالة التعاودية:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

void recur(void);

main(){
  recur();
  exit(EXIT_SUCCESS);
}

void
recur(void){
  static ntimes;

  ntimes++;
    if(ntimes < 100)
      recur();
  printf("%d\n", ntimes);
  ntimes--;
}
```

### 11.4.4 التمرين الرابع

وأخيرًا، أطول الإجابات:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
```

```
#define PI 3.141592
#define INCREMENT (PI/20)
#define DELTA .0001

double sine(double), cosine(double);
static unsigned int fact(unsigned int n);
static double pow(double x, unsigned int n);

main(){
  double arg = 0;

  for(arg = 0; arg <= PI; arg += INCREMENT){
    printf("value %f\tsine %f\tcosine %f\n", arg, sine(arg),
cosine(arg));
  }
  exit(EXIT_SUCCESS);
}

static unsigned int
fact(unsigned int n){
  unsigned int answer;

  answer = 1;
  while(n > 1)
    answer *= n--;

  return(answer);
}

static double
pow(double x, unsigned int n){
  double answer;

  answer = 1;
  while(n){
    answer *= x;
    n--;
```

```
  }
  return(answer);
}

double
sine(double x){
  double difference, thisval, lastval;
  unsigned int term;
  int sign;

  sign = -1;
  term = 3;

  thisval = x;
  do{
    lastval = thisval;
    thisval = lastval + pow(x, term)/fact(term) * sign;
    term += 2;
    sign = -sign;
    difference = thisval - lastval;
    if(difference < 0)
      difference = -difference;
    }while(difference > DELTA && term < 16);

  return(thisval);
}

double
cosine(double x){
double difference, thisval, lastval;
  unsigned int term;
  int sign;

  sign = -1;
  term = 2;
```

```
  thisval = 1;
  do{
    lastval = thisval;
    thisval = lastval + pow(x, term)/fact(term)  * sign;
    term += 2;
    sign = -sign;
    difference = thisval - lastval;
    if(difference < 0)
      difference = -difference;
  }while(difference > DELTA && term < 16);

  return(thisval);
}
```

## 11.5 الفصل الخامس

### 11.5.1 التمرين الأول

من 0 إلى 9.

### 11.5.2 التمرين الثاني

لا شيء، من المضمون أنه سيكون عنوان صالح ويمكن استخدامه للتحقق من مؤشر في نهاية المصفوفة.

### 11.5.3 التمرين الثالث

فقط عندما تشير إلى المصفوفة أو الكائن ذاته.

### 11.5.4 التمرين الرابع

يمكن استخدامه بأمان لتخزين قيمة المؤشر الذي يشير إلى أي نوع من الكائنات.

### 11.5.5 التمرين الخامس

.1

```
int
st_eq(const char *s1, const char * s2){

  while(*s1 && *s2 && (*s1 == *s2)){
```

```
    s1++; s2++;
  }

  return(*s1-*s2);
}
```

.2

```
const char *
find_c(char c, const char *cp){

  while(*cp && *cp != c)
     cp++;
  if(*cp)
    return(cp);

  return(0);
}
```

.3

```
const char *
sub_st(const char *target, const char *sample){

  /*
sample تجربة سلسلة نصية جزئية باستخدام كل محرف في
  */
  while(*sample){
    const char *targ_p, *sample_p;

    targ_p = target;
    sample_p = sample;
    /* مقارنة السلسلة النصية */
    while(*targ_p && *sample_p && (*targ_p == *sample_p)){
        targ_p++; sample_p++;
    }
    /*
    * إذا وصلت إلى نهاية الهدف، فلديك سلسلة فرعية
```

```
    */
    if(*targ_p == 0)
      return(sample);
    /* وإلا جرب مكانًا آخر */
      sample++;
    }
  return(0);       /* في حال عدم العثور على تطابق */
}
```

### 11.5.6 التمرين الخامس

لا يمكن تقديم أي إجابة.

## 11.6 الفصل السادس

### 11.6.1 التمرين الأول

```
struct {
  int a,b;
};
```

### 11.6.2 التمرين الثاني

لا يخدم تصريح الهيكل أي استخدام دون الوسم، أو أي متغيرات أخرى معرّفة، ولا يمكن الإشارة إليه لاحقًا.

### 11.6.3 التمرين الثالث

```
struct int_struc{
  int a,b;
}x,y;
```

### 11.6.4 التمرين الرابع

```
struct int_struc z;
```

### 11.6.5 التمرين الخامس

```
p = &z;
p->a = 0;
```

### 11.6.6 التمرين السادس

مباشرةً، على سبيل المثال:

```
struct x;
```

أو ضمنيًا، إذا لم يوجد أي تصاريح خارجية:

```
struct x *p;
```

### 11.6.7 التمرين السابع

لا يُعامل مثل مؤشر بل مثل طريقة مختصرة لتهيئة عناصر المصفوفة بصورةٍ منفردة.

### 11.6.8 التمرين الثامن

لا يوجد أي شيء خارج عن المألوف، إذ تُعامل السلسلة النصية مثل سلسلة نصية ثابتة من النوع `const char *`.

### 11.6.9 التمرين التاسع

نعم، الأمر أسهل في هذه الحالة.

## 11.7 الفصل السابع

### 11.7.1 التمرين الأول

```
#define MAXLEN 100
```

### 11.7.2 التمرين الثاني

قد يكون هناك بعض المشاكل المتعلقة بالأسبقية في بعض التعابير، والتعريف الأكثر أمانًا في هذه الحالة هو:

```
#define VALUE (100+MAXLEN)
```

### 11.7.3 التمرين الثالث

```
#define REM(a,b) ((a)%(b))
```

### 11.7.4 التمرين الرابع

```
#define REM(a,b) ((long)(a)%(long)(b))
```

### 11.7.5 التمرين الخامس

غالبًا ما يشير لوجود ملف ترويسة لمكتبة.

### 11.7.6 التمرين السادس

غالبًا ما يشير لوجود ملف ترويسة خاص.

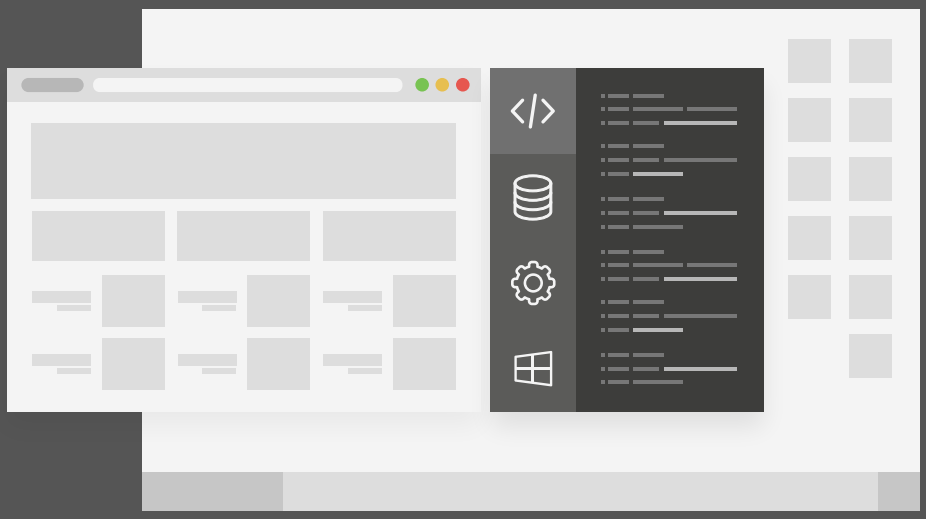
### 11.7.7 التمرين السابع

باستخدام توجيهات التصريف الشرطي، والأمثلة موضحة في محتويات الفصل.

### 11.7.8 التمرين الثامن

يستخدم النوع `long int` مكـان `int` و `unsigned long int` مكـان `unsigned int` باسـتخدام البيئة الحسابية المقدّمة من المترجم، وليس البيئة الهدف، ويجب أن تُقـدّم على الأقـل النطاقـات المحـددة في ملف الترويسة `<limits.h>`.

# دورة علوم الحاسوب



دورة تدريبية متكاملة تضعك على بوابة الاحتراف
في تعلم أساسيات البرمجة وعلوم الحاسوب

**التحق بالدورة الآن**

# أحدث إصدارات أكاديمية حسوب