بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به:

مادر، پدر و خواهرم

آموزش C++

ویرایش سوم

مؤلف:
سید ایمان علوی فاضل

سرشناسه	:	علوی فاضل، سید ایمان ۱۳۷۷ -
عنوان و پدیدآور	:	آموزش++C / تالیف سید ایمان علوی فاضل
وضعیت ویراست	:	ویراست۳
مشخصات نشر	:	اهواز: ترآوا، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	:	۳۶۸ص. :
شابک	:	۹-۳۳۷-۳۴۷-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	سی++ (زبان برنامه‌نویسی کامپیوتر) C (computer program language)++
موضوع	:	زبان‌های برنامه‌نویسی کامپیوتر Programming languages (Electronic computers)
رده بندی کنگره	:	س۹۳ع۷۵ ۱۳۹۷/ QA۷۶/۷۳
رده بندی دیویی	:	۱۳۳/۰۰۵
شماره کتابشناسی ملی	:	۵۲۹۰۲۹۵

نام کتاب: آموزش++C

مؤلف: سید ایمان علوی فاضل

ویراستار ادبی: محمد مستعان

طرح روی جلد: مشتاق مودّت

ناشر: ترآوا

شماره‌ی نشر: ۵۱۴

نوبت چاپ: سوم (ویرایش سوم)/۱۳۹۷

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

شابک: ۹-۳۳۷-۳۴۷-۶۰۰-۹۷۸

نشرترآوا: اهواز- کیانپارس- خیابان نهم غربی- پلاک ۱۲۸

نمابر: ۰۶۱۳۳۹۰۳۷۱۴ همراه: ۰۹۱۶۱۱۳۶۷۸۵

Taravapublication@yahoo.com

فروشگاه اینترنتی www.tarava.com

@taravapub

حق چاپ و نشر مخصوص ناشر است.

فهرست

عناوین	صفحه
پیشگفتار مؤلف	**۷**
مقدمه	**۹**
اولین برنامه	**۱۳**
متغیر و انواع داده (۱)	**۱۷**
اپراتورها (۱)	**۲۶**
ساختارهای شرطی	**۴۴**
ساختارهای تکرار	**۵۲**
تابع (۱)	**۶۱**
متغیر و انواع داده (۲)	**۷۳**
آرایه	**۸۰**
متغیر و انواع داده (۳)	**۸۷**
اپراتورها (۲)	**۹۹**
کار با حافظه (۱)	**۱۰۱**
رشته	**۱۲۲**
کلاس (۱) (کلاس‌ها و اشیا)	**۱۲۸**
کلاس (۲) (کپسول کردن و لیست انتساب دهندهی عضو)	**۱۳۸**
کلاس (۳) (ادامهی مباحث پایهای کلاسها)	**۱۴۸**
کلاس (۴) (وراثت، اعضای friend و سربارگذاری اپراتور)	**۱۵۹**
کلاس (۵) (چندریختگی)	**۱۷۴**
کلاس (۶) (توابع عضو خاص)	**۱۸۹**
واژه‌ی static	**۲۰۳**
چند فایل کردن کد منبع	**۲۰۹**
namespace	**۲۲۵**
پیشپردازنده	**۲۳۲**

قالب تابع..... ۲۳۹
قالب کلاس و متغیر..... ۲۵۲
std::array، std::vector و std::map..... ۲۶۶
کار با فایل..... ۲۸۳
تابع (۲)..... ۲۸۸
استثناء..... ۳۱۱
کار با حافظه (۲) (اشارهگرهای هوشمند)..... ۳۲۷
تولید اعداد تصادفی..... ۳۴۳
ضمیمه (۱) کمپایلر برای C++..... ۳۵۳
ضمیمه (۲) کمپایل با C++14، C++11 و C++17..... ۳۵۸
ضمیمه (۳) گرفتن آرگومان از cli..... ۳۵۹
ضمیمه (۴) نوع بازگشتی کوواریانت (covariant)..... ۳۶۱
ضمیمه (۵) Most vexing parse در C++..... ۳۶۲
ضمیمه(6) دسته بندی مقادیر..... ۳۶۵

پیشگفتار مؤلف

در این کتاب اصطلاحاتی که بین برنامه نویس های فارسی زبان آشنا هستند، مانند اشارهگر، شی و ... به فارسی ترجمه شدهاند، و واژگانی همچون namespace به همان صورت انگلیسی در متن کتاب قرار گرفتند.

با تغییراتی که در استانداردهای جدید C++ افزوده شده، توضیح خیلی از مطالب به یکدیگر وابسته شدهاند؛ در این کتاب سعی شده این مفاهیم به بهترین ترتیب ممکن درکتاب بیان شوند.

با وجود اینکه کتابهای خوبی به فارسی و انگلیسی منتشر شده است، در این کتاب سعی شده تفاوتهایی با برخی از آنها داشته باشه; از جمله عدم قرار دادن مثالی دشوار بعد از توضیح یک بخش. در کتاب حاضر به دو دلیل از مثالهای ساده و کوتاه استفاده شده است؛ تا اولا جنبهی آموزشی آن مبحث از نظر نهوه ی استفاده از ساختار مربوطه شیواتر بیان شود و ثانیا خواندن و تایپ کدهای کوتاه از روی کتاب آسانتر باشد. برنامه های کاربردی و طولانی، در اکانت github قرار خواهند گرفت و بروزرسانی خواهند شد.

همچنین در این کتاب سعی شده است که ایده های کلی از C++ به خواننده منتقل شود. در صورت نیاز به جزئیات کامل، کتاب The C++ Programming Language تالیف بیارنه استراستروپ - مخترع C++ - توصیه میشود.

در پایان از پدر و مادرم که همیشه راهنمای مناند کمال امتنان را دارم.

بسیار سپاس‌گزار خواهم بود نظرات خود را جهت بهبود کتاب به آدرس زیر ایمیل کنید:

im.alavifazel@gmail.com

برای کد و برنامه‌های نوشته شده به github زیر مراجعه کنید:

github.com/alavifazel

مقدمه

ابتدا با چند مفهوم کلی در برنامه نویسی آشنا می‌شویم:

زبان ماشین (Machine Language)

به دستورالعمل هایی که مستقیم بر روی پردازنده (CPU) اجـرا میشـوند، زبان ماشـین گفته می‌شود. این دستورات متشکل از اعداد (معمولا اعـداد باینری)انـد و مجمـوعه‌ای از آنها ایجاد یک دستورالعمل میکند که برای کامپیوتر معنی خاصی میدهد. دستورات زبان ماشین علاوه بر دشوار بودن، مختص سخت افزار خاصی اند. به علت دشواری و وابسـتگی این دستورات به سخت افزار خاص، از این زبان به طور مستقیم برای توسـعه ی نرمـافزار استفاده نمیشود.

زبان اسمبلی (Assembly language)

در زبان اسمبلی (یا asm) برای دستورالعملهای زبان ماشین، جایگزین اسمی وجود دارد؛ به طوری که در این زبان، به جای نوشتن مستقیم دستورالعملها از واژهها برای کدنویسی استفاده میشود. لازم به ذکر است که رابطه‌ی بین دستورات اسمبلی و زبان ماشـین لزوما یک رابطه‌ی یک به یک نیست. این زبان، کدنویسی را مقداری سادهتر کرد.

نمونهای از یک دستور اسمبلی:

```
MOV AL
```

از آنجایی که پردازنده فقط قادر به اجرای زبان ماشین است، دستورات اسمبلی در نهایت باید توسط برنامه‌ای به نام *اسمبلر*[1] به زبان ماشین تبدیل شـوند. زبان اسـمبلی یـک زبان سطح پایین است به این معنـا کـه برنامه‌های نوشـته شـده در این زبان، بـه سـخت افزار نزدیکاند. نرمافزارهای سطح پایین با سرعت زیادی اجرا میشوند و دسترسی مسـتقیم بـه منابع سیستم را دارند. کدنویسی در این زبان علاوه بر جنبه‌های آموزشـی، در برنامه‌هایی

[1]. Assembler

که نیاز به دسترسی مستقیم به سختافزار است هنوز کاربرد دارد.

زبان‌های سطح بالا (High level languages)

زبان‌های سطح بالا مانند C++ با قرار دادن سطح زیادی از انتزاع (Abstraction)، کدنویسی را آسانتر کرده است. با استفاده از زبانهای سطح بالا، مقدار زیادی از کارکرد سختافزار از برنامه نویس مخفی میماند. اکثر نرم افزارهای مدرن نیز با این زبان‌ها نوشته می‌شوند. به دلیل آنکه CPU فقط قادر به اجرای زبان ماشین است، کدهای نوشته شده در این زبان‌ها نیز نهایتاً باید به طریقی به زبان ماشین تبدیل شوند. این زبان‌ها معمولاً با یکی از دو نوع نرم افزار زیر (یا ترکیبی از این دو) پیاده میشوند:

۱. کمپایلر[1]

۲. مفسر[2]

۱. کمپایلر:

کدهای نوشته شده در زبان‌هایی مانند C و C++ معمولاً توسط برنامه‌ای به اسم کمپایلر به زبان ماشین تبدیل می‌شوند. به تبدیل کدهای این زبان‌ها به زبان ماشین توسط کماپایلر، **کمپایل** میگویند. کمپایلر تمام کدهای منبع را یکجا کمپایل کرده و یک خروجی نهایی تولید میکند. این خروجی سپس، برای هر بار اجرا نیاز به کمپایل مجدد ندارد. همچنین کمپایلر، برنامه را برای یک نوع پردازنده و سیستم عامل خاص کمپایل میکند. مثلاً برنامهای که برای لینوکس ۶۴ بیت کمپایل شده، قابل اجرا بر روی لینوکس ۳۲ بیت نیست. برای اجرا، برنامه باید برای لینوکس ۳۲ بیت جداگانه کمپایل شود.

۲. مفسر:

زبان‌های سطح بالایی مانند Ruby از مفسر به جای کمپایلر استفاده می‌کنند. مفسر کدها را خط به خط و در حین اجرا به زبان ماشین تبدیل می‌کند. به همین دلیل

[1]. Compiler
[2]. Interpreter

برنامه‌هایی که از مفسر استفاده می‌کنند معمولاً کندتر از برنامه‌های کمپایلی هستند. مفسر توانایی بهینه سازی، مدیریت خودکار منابع برنامه و ... را ساده تر از کمپایلر میتواند پیاده کند. همچنین مفسر قابلیت حمل (portability) برنامه را افزایش می‌دهد؛ زیرا کدها، بدون (یا با مقدار کمی) تغییر بر روی هر سیستمی که مفسر آن زبان نصب باشد قابل اجرا هستند.

نیاز به ذکر هست که کمپایلر و مفسر، ابزارهایی برای پیادهسازی زبانهای برنامه نویسی هستند و خود زبان برنامه نویسی، مفسری یا کمپایلی نیست؛ با این وجود به دلیل اینکه پیاده سازیهای بعضی از زبانها مثل C++ معمولاً با کمپایلر صورت میگیرد، به C++ زبان کمپایلی میگویند.

زبان C++

C++ (سی پلاس پلاس) یک زبان همه منظوره‌ی برنامه نویسی است که در سال ۱۹۷۹ توسط بیارنه استروستروپ[1] برای بهبود زبان C طراحی شد. این زبان در ابتدا **C همراه کلاس** نام داشت که در سال ۱۹۸۳ به C++ تغییر کرد. این زبان از قابلیت‌های سطح بالایی همچون شی گرایی[2]، برنامه نویسی جنریک[3]، تابعی[4] و علاوه بر آن از قابلیت‌های سطح پایین مانند کار با حافظه[5] نیز برخوردار است. این ویژگی‌ها، C++ را به یک زبان معروف و تجاری تبدیل کرده است. برنامه‌های نوشته شده در این زبان با استانداردهای اخیر از امنیت بالایی نیز برخوردارند. با اصطلاحات نام برده شده در طول کتاب آشنا می‌شویم.

[1]. Bjarne Stroustrup
[2]2. Object-oriented programming
[3]3. Generic programming
[4]1. Functional programming
[5]2. Memory management

اولین برنامه

برای کدنویسی به زبان C++ نخست، نیاز به یک کمپایلر است. با داشتن کمپایلر از هر ویرایشگر متنی برای نوشتن و ویرایش دستورات، مثل vim، Notepad یا emacs می‌توان استفاده کرد. با این وجود نرم افزارهایی تحت عنوان محیط یکپارچه‌ی برنامه نویسی یا IDE[1] - که اکثراً رایگان هستند - وجود دارند که نوشتن، غلط گیری و کمپایل کد منبع را آسانتر میکنند. IDEهای codeblocks، Visual Studio و qtcreator جز معروف ترین آن‌هاست. هدفِ این نرم افزارها یکسان و انتخاب آن‌ها سلیقه‌ای می‌باشد. *برای راهنمایی نصب کمپایلر و IDE به ضمیمه‌ی ۱ مراجعه کنید.*

هدف در این قسمت، معرفی برنامه ایست که یک عدد صحیح را در خروجی نمایش می‌دهد. دستورات زیر را تایپ کنید. سپس به بررسی جداگانه‌ی هر خط می‌پردازیم.

```
#include "stdafx.h"
#include <iostream>

int main()
{
   std::cout << 4;
   system("pause");
   return 0;
}
```

با کمپایل و اجرای برنامه، خروجی زیر تولید می‌شود:

```
4
```

خروجی این برنامه در کنسول است؛ این محیط در لینوکس و macOS تحت نرم افزاری‌هایی مانند terminal و در ویندوز cmd قابل مشاهده است.

اکنون به توضیح هر خط میپردازیم:

#include "stdafx.h": در صورت عدم استفاده از Visual Studio، این

[1] 1. Intergrated Development Environment

دستور را حذف کنید (در پایان این بخش بیشتر توضیح داده شده).

`#include <iostream>`: دستورِ `#include` محتوای فایلی که بعد از آن قرار میگیرد را به برنامه می‌افزاید. فایل‌هایی که با این دستور به برنامه افزوده میشوند، هِدِر[1] نام دارند. هِدِر `iostream` که در این خط به برنامه افزوده میشود، یک سری قابلیتها را برای ورودی و خروجی کنسول در دسترس قرار میدهد. از این قابلیتها جهت چاپ یک عدد صحیح در ادامهی برنامه استفاده میشود.

خط 3: یک خط خالی (`blank`) است و توسط کمپایلر نادیده گرفته می‌شود. این خط برای خوانایی بهتر منظور گردیده است.

`int main()`: این خط تابعی به نام `main` تعریف می‌کند. تابع `main`، قسمتی از برنامه است که با اجرا شدن آن، سیستم به دنبال و اجرای دستورات این تابع می‌پردازد.

خطوط 5 و 9: آکولاد باز و بسته اند که دستورات تابع `main` در میان آن‌ها قرار می‌گیرند. به دستوراتی که بین $\{\}$ و بعد از نام تابع میگیرند بدنه، و در اینجا بدنهی تابع `main` گفته می‌شود.

`std::cout << 4;`: در این خط از `std::cout` برای خروجی در کنسول استفاده شده. عبارت بعد از اپراتور << به خروجی ارسال می‌شود که در اینجا عدد ۴ است.

`system("pause");`: در صورت استفاده از `Visual Studio`، اگر با گزینهی `Local Windows Debugger` برنامه را اجرا میکنید، بعد از چاپ خروجی بلافاصله `cmd` بسته میشود. برای جلوگیری از بسته شدن `cmd`، یا برنامه را با `Ctrl + F5` اجرا کنید و یا این خط را به برنامه بیافزایید.

`return 0;`: این دستور اتمام برنامه را بدون خطا به سیستم اعلام می‌کند. در صورتی که عدد بعد از `return` عددی غیر از صفر باشد در اکثر کمپایلرها به معنی اتمام برنامه

[1]. Header

با خطاست. در صورت نوشته نشدن این دستور، کمپایلر بطور پیش فرض `return 0;` را در نظر میگیرد.

توجه شود که در این برنامه یک سمیکلن (;) در پایان هر دستور (غیر از دستورات # include و بدنه {}) باید قرار گیرد.

در cout با اپراتور << می‌توان چند عبارت را با تفکیک در خروجی چاپ کرد. مثلاً دستور زیر:

```
std::cout << 4 << 5;
```

45 را در خروجی چاپ می‌کند.

دلیل قرار دادن std:: قبل از std::cout در خط 5 این است که cout یک جز از کتابخانه‌ی استاندارد است. به جای قرار دادن std:: می‌توانستیم یک بار از دستور زیر:

```
using namespace std;
```

در بدنه main یا قبل از main - برای تاثیر دادنش در تمام برنامه - استفاده کنیم. این دستور باعث می‌شود که امکان استفاده از اجزای کتابخانه‌ی استاندارد بدون نیاز به std:: قبل از نام آنها فراهم شود.

نکته‌ی قابل ذکر این است که علاوه بر خط‌های خالی، تمام فاصله‌های دیگر مثل tab و space بین دستورات (غیر از دستور #include) نیز توسط کمپایلر نادیده گرفته میشوند و فقط جهت خوانایی قرار می‌گیرند. برای مثال، میتوانستیم کل برنامه را به صورت زیر بنویسیم:

```
#include "stdafx.h"
#include <iostream>
int main(){std::cout << 4;system("pause");return 0;}
```

توجه: فایل stdafx.h فایلی است که به طور خودکار توسط Visual Studio تولید می‌شود. با از پیش کمپایل آن، که خود شامل هِدِرهای استاندارد سیستم و

هِدِرهای پروژه است، مدت زمان کمپایل کاهش می‌یابد؛ **افزودن هِدِر "stdafx.h" و خط system("pause") در مثال‌های بعدی قرار نخواهند گرفت. لذا در صورت استفاده از Visual Studio، این دستورات را برای هر مثال بنویسید.**

در این فصل هدف، آشنایی اولیه با C++ بود. در فصل آینده با ذخیره ی مقادیر در حافظه آشنا میشویم که امکان نوشتن برنامه های کاربردیتر را فراهم میکند.

متغیر و انواع داده (۱)

در C++ برای ذخیره‌ی یک مقدار در حافظه، نوع داده[1]ی آن باید مشخص باشد. در این فصل با اکثر انواع دادههای اساسی برای ذخیرهی اعداد صحیح، اعشاری، بولین[2] و ... آشنا میشویم.

پنج نوعدادهای را که در ایجا بررسی میکنیم عبارتاند از:

- `char` برای ذخیره سازی کاراکترها مانند 'a'.
- `int` برای اعداد صحیح.
- `float` برای اعداد اعشاری.
- `double` برای اعداد اعشاری بزرگ‌تر از `float` و با دقت اعشار بیشتر.
- `bool` برای مقادیر صحیح و غلط (`true` و `false`).

حجمی که یک کمپایلر برای انواع دادههای عددی اختصاص میدهد یکسان نیست. در اکثر سیستم‌ها برای ذخیرهسازی `int` چهار بایت و `float` شانزده بایت اشغال میشود. بازهای که با انواع عددی میتوان ذخیره کرد براساس حجمی که اشغال میکنند متفاوت است. در جدول زیر مقادیر مجاز پنج نوع معرفی شده نوشته شده است (بازههای عددی برابر با حداقل مقدار گارانتی شده در استاندارد C++ هستند):

نوع	مقدار
`char`	۱۲۷- تا ۱۲۷+
`int`	۳۲۷۶۷- تا ۳۶۷۶۷+
`float`	حدود $۱۰^{-۳۸}$ تا $۱۰^{۳۸}$ (با ۷ رقم دقت)
`double`	حدود $۱۰^{-۳۰۸}$ تا $۱۰^{۳۰۸}$ (با ۱۵ رقم دقت)

[1]. Data type

[2] مقادیر بولین میتوانند فقط مقدار true و false را اختیار کنند.

bool	**true** و **false**

بـــرای اطلاع از بازه دقیـــق انـــواع عـــددی بـــر روی سیســـتم خـــود میتوانیـــد از `std::numeric_limit` از هِدِر `<limits>` استفاده کنید.

برای مثال)

```
#include <iostream>
#include <limits>
using namespace std;

int main(){
   cout << numeric_limits<double>::lowest() << ' '
        << numeric_limits<double>::max();
}
```

کمترین و بیشترین مقدار `double` را نمایش میدهد.[1]

برای ذخیره‌ی یک مقدار و استفاده از آن در طول برنامه، دانستن انواع دادههای ذکر شده کافی نیست بلکه باید متغیر[2] از یک نوع داده اعلان شود. متغیر برای فضـایی از حافظـه با نوع داده‌ی مشخص، یک نام اختصاص می‌دهـد. با نـام متغـیر سپس مقـداردهی، گرفتن مقدار و تغییر مقدار روی حافظه متغیر میتواند صورت گیرد. فرمت اعلان یـک متغـیر بـه صورت زیر است:

```
datatype id;
```

`datatype` نوع داده‌ی متغیر و `id` نام متغیری است که اعلان میشود.

برای مثال با:

```
int a;
```

یک متغیر به نام `a` از نوع `int` اعلان می‌شود.

[1] استفاده از تمام قابلیتهای numeric_limits نیازمند C++۱۱ به بعد است. برای آشنایی با نحوه‌ی کمپایل با استاندارد های جدید، ضمیمهی ۲ را مطالعه کنید.

[2]. Variable

مثال۱) برنامه‌ای که شامل یک متغیر از نوع int برای ذخیرهی یک عـدد صـحیح است.

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
    int a = 4;
    cout << "a's value = " << a << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
a's value = 4
```

توضیح) در دستور cout، کاراکتر '\n' یک کاراکتر خـاص اسـت کـه با قرارگـیری آن، یک خط جدید چاپ میشود.

برای مقداردهی اولیهی متغیر، از ۴ روش زیر میتوان استفاده کرد:

```
int a = 3;
int a(3);
int a{3};
int a = {3};
```

دستورات فوق تاثیر یکسانی دارند و هرکدام یک متغیر از نـوع int اعلان و آن را با ۳ مقـداردهی اولیـه می‌کنـد. بـه اسـمی کـه بـرای عناصر تعریفی می‌گـذاریم شناسـه (identifier) گفته میشود. در دستورات بالا، a یک شناسه است.

متغیر پس از اعلان، جداگانه می‌تواند با اپراتور = (اپراتور انتساب) مقداردهی شـود. بـرای مثال:

```
int a;
a = 4;
```

نوع دادهی یک متغیر مشخص میکند چه فرآیندهایی روی آن میتوان انجام داد.

در استانداردهای جدید اگر متغیر با اعلان مقداردهی اولیه شود، به جای نوشتن نوع داده

آن، از واژهی auto میتوان استفاده کرد. برای مثال با دستور زیر:

```
auto i = 5;
```

کمپایلر نوع i را براساس نوع ۵ (int) اعلان و آن را با ۵ مقداردهی اولیه میکند.

برای تعریف چند متغیر از یک نوع داده می‌توان چند شناسه را با کاما (,) تفکیک داد و نوشت. مثلاً با:

```
int a = 4, b = 2;
```

دو متغیر به نام‌های a و b از نوع int ایجاد و مقداردهی اولیه می‌شوند.

برخلاف cout که تاکنون استفاده کردیم، با استفاده از cin می‌توان یک سری ورودی را از طریق کنسول از کاربر دریافت کرد. با cin مقادیر مورد نیاز جهت مقداردهی متغیرها را نیز در حین اجرا میتوان از کاربر گرفت.

مثال ۲) برنامه‌ای که شامل یک متغیر است که مقدارش در حین اجرا و با cin دریافت می‌شود.

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int x;
   cout << "Enter a value:";
   cin >> x;
   cout << "You entered:" << x << '\n';
}
```

دستورات را کمپایل و اجرا کنید تا به ازای یک ورودی مثل 7، خروجی زیر تولید شود:

```
Enter a value:7
You have entered:7
```

توضیح) مقدار وارد شده از طریق cin با اپرتور >> (برخلاف << در cout) باید در متغیر ذخیره شود.

با اپراتور >> چند ورودی را با تفکیک می‌توان از کاربر دریافت کرد. کاربر یا قرار دادن

فاصله مثلاً با space و enter می‌تواند ورودی‌ها را تفکیک داده شده به برنامــه ارسال کند.

مثال ۳) برنـامه‌ای کـه ۳ عـدد صـحیح int را از ورودی می‌گـیرد و آن‌ها را در خروجی نمایش می‌دهد:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int a, b, c;
   cout << "Enter 3 values and press enter: ";
   cin >> a >> b >> c;
   cout << "You have entered: " << a << " " << b << "
" << c << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Enter 3 values and press enter: 2 5 4
You have entered: 2 5 4
```

به نوع دادهی int، یک سری پیشوند بـرای علامتدار یا بی علامت بـودن و تعـیین سایز آن میتواند افزوده شود؛ که عبارتاند از:

۱. signed و unsigned برای تعیین علامت،

۲. long، short و long long برای تعیین سایز.

انواع ایجاد شده با پیشوندهای فوق حداقل بازههای زیـر را ایجاد میکننـد (با اعلان int، نوع آن به طور پیش فرض از نوع signed قرار میگیرد):

نوع	حداقل بازه
short int	۳۲۷۶۷- تا ۳۶۷۶۷+
unsigned short int	۰ تا ۶۵۵۳۵

unsinged int	۰ تا ۶۵۵۳۵
long int	$\pm 2.14 \cdot 10^{9}$
unsigned long int	۰ تا ۴.۲۹ $\cdot 10^{9}$
long long int	$\pm 9.22 \cdot 10^{18}$
unsigned long long int	۰ تا $1.84 \cdot 10^{19}$

همانگونه که در جدول دیده میشود از هر نوع پیشوند (علامتدار بودن و سایز) فقط یکی از آنها را میتوان نوشت. اگر پیشوندها نیز به تنهایی نوشته شوند، به معنای پیشوند به علاوهی int است؛ برای مثال:

```
long i = 10;
```

i را از نوع long int اعلان میکند.

به عنوان یک قاعدهی کلی برای ذخیره اعداد صحیح از int استفاده کنید مگر اینکه نیاز به ذخیرهی اعداد بزرگ شود که در آن صورت long و long long گزینههای مناسبیاند. همچنین مقادیر signed و unsigned هم نباید با هم ترکیب شوند زیرا نتایج غیرقابل پیشبینی ایجاد میکنند.

بازههای عددی ذکر شده در جدول، حداقل گارانتی شده در استاندارد C++ را نشان میدهند و کمپایلرهای مختلف میتوانند بازههای بیشتری را تخصیص دهند. در صورت نیاز به سایز و بازههای ثابت و جلوگیری از محدودیت برنامه به کمپایلر خاص، از نوعها موجود در هِدِر cstdint میتوانید استفاده کنید. انواع موجود در این هِدِر شامل انواعی با سایز ثابت و غیرثابت است. برای مثال:

```
#include <cstdint>
…
int16_t i = 10;
```

متغیر i را با مقدار ثابت ۴ بایت اعلان میکند که عدد صحیح بین ±۳۲۷۶۷ را در آن میتوان ذخیره کرد.

غیر از انواع ذکر شده، انواع اساسی دیگری نیز وجود دارد که در ادامه با آنها آشنا

میشویم.

عبارت و دستور در C++

دستور (statement) قسمتی از کدهای برنامه است که عملی را انجام می‌دهد و معمولاً با **;** نیز به پایان میرسد. برای مثال خط زیر یک دستور است:

```
int a = 1;
```

عبارت (expression) در حالت ساده بیانگر یک مقدار در برنامه است. مثل:

```
5
```

اگر یک عبارت (expression) با یک علامت ; به پایان برسد نیز یک دستور (statement) حساب میشود.

در پایان این بخش سه نکته بررسی می‌شود:

۱. در برنامه از // جهت **توضیح** استفاده میشود و کمپایلر، کاراکترهای مقابلش را تا انتهای خط نادیده می‌گیرد. برنامه نویسها برای خود و دیگران این توضیحات را قرار می‌دهند. برای مثال:

```
cout << 1 << '\n'; // prints 1
```

به جای استفاده از //، می‌توان یک سری توضیح را بین /* و */ قرار داد. مثال:

```
/*
This is a comment.
And will be ignored by compiler...
*/
```

۲. همچنین چهار نکته را در مورد شناسهها باید در نظر گرفت:

۱. C++ به بزرگی و کوچکی حروف حساس است و این شامل شناسهها نیز می‌شود.

۲. نام شناسه می‌تواند متشکل از حرف، عدد و underscore (_) باشد.

۳. نام شناسه نمی‌تواند با یک عدد شروع شود.

۴. نام شناسه نمی‌تواند همنام با واژگان از پیش تعریف شده برای کمپایلر باشـــد.

این واژه‌ها در آخرین استانداردهای C++ شامل واژههای زیر است:

```
alignas
alignof
and
and_eq
asm
auto
bitand
bitor
bool
break
case
catch
char
char16_t
char32_t
class
compl
concept
const
constexpr
const_cast
continue
decltype
default
delete
do
double
dynamic_cast
else
enum
explicit
export
extern
false
float
for
friend
goto
if
inline
int
long
mutable
namespace
new
noexcept
not
not_eq
nullptr
operator
or
or_eq
private
protected
public
register
reinterpret_cast
return
short
signed
sizeof
static
static_assert
static_cast
struct
switch
template
this
thread_local
throw
true
try
typedef
typeid
typename
union
unsigned
using
virtual
void
volatile
wchar_t
while
xor
xor_eq
```

دو واژهی زیر نیز فقط در مکانهای خاصی از پیش تعریف شدهاند:

```
override
final
```

به این ترتیب اعلان متغیرهای زیر غلط است:

```
int double;     //error
int 4var; //error
```

اپراتورها (۱)

با استفاده از یـک اپراتـور (عملگر) می‌تـوان عملی را بـر روی مقـادیر انجام داد تـا نتـایج جدیدی حاصل شود. به عنوان مثال با اپراتور + میتوان عبارت 3+4 را در برنامه نوشت تا جمع آن‌ها، یعنی 7، برگردد. همچنین در مثال مذکور 4 و 3 هر کـدام یـک اپرانـد[1] نـام دارند. بـه مجموعهـای از اپراتورها و اپراندهایشـان، یـک عبارت (expression) گفتـه میشود. در اینجا به ۵ دسته از اپراتورها میپردازیم:

1. اپراتورهای محاسباتی
2. اپراتورهای افزایش/کاهش
3. اپراتورهای انتساب
4. اپراتورهای ربطی
5. اپراتورهای منطقی

اپراتورهای محاسباتی[2]

این نوع اپراتورها یک سری محاسبات ریاضی روی اپراندها اعمال می‌کنند. اگر a و b بـــه ترتیب اعداد 4 و 2 باشند:

اپراتور	توضیح	نتیجه
+	اپراندها را جمع می‌کند.	a+b می‌دهد 6
-	اپراند بعد را از قبلی کم می‌کند.	a-b می‌دهد 2
*	اپراندها را در هم ضرب می‌کند.	a*b می‌دهد ۸
/	اپراند قبل را بر بعد تقسیم می‌کند.	a/b می‌دهد ۲
%	باقی‌مانده‌ی تقسیم اپراند قبل بر بعد از اپراتور را برمیگرداند.	a%b می‌دهد 0

[1]. Operand
[2]. Arithmetic operators

مثـال ۱) برنـامه‌ای کـه ۲ عـدد صـحیح را از ورودی می‌گـیرد و میانگین آن‌ها را حساب میکند و در خروجی نمایش می‌دهد:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int a, b;
   double average;
   cout << "Enter 2 values and press enter: ";
   cin >> a >> b;
   average = (a + b) / 2;
   cout << "Average = " << average << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Enter 2 values and press enter: 9 7
Average = 8
```

نکته: در خط هشتم عبارت:

```
average = (a + b) / 2;
```

کمپایلر مقدار راست اپراتور = (اپراتور انتساب) را حساب و با نـتیجهی آن، متغـیر سـمت چپ = را مقداردهی می‌کند. پس دستور زیر نیز صحیح است:

```
a = a + 5;
```

با وجود این که از نظر جبری درست نیست.

اپراتورهای افزایش/کاهش

این اپراتورها یک واحد به اپراند خود میافزایند یا از آن میکاهند. اگر مقـدار متغـیر a، 4 باشد:

اپراتور	توضیح	نتیجه
++	بر روی یک اپراند اعمال می‌شود و به مقدار عددی آن یکی	a++ می‌دهد 5

	می‌افزاید.	
a-- می‌دهد ۳	بر روی یک اپراند اعمال می‌شود و از مقدار عددی آن یکی می‌کاهد.	--

مثال ۲) اپراتورهای افزایش و کاهش می‌توانند هم قبل و هم بعد از متغیر نوشته شود. در مثال زیر فرق آن‌ها را بررسی می‌کنیم:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int a = 4;
   cout << a++ << '\n';
   cout << a << '\n';

   cout << ++a << '\n';
   cout << a << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
4
5
6
6
```

توضیح) همانطور که از خروجی مشاهده می‌شود اگر اپراتور افزایش بعد از متغیر نوشته شود مثل i++، اپراتور به مقدار آن یکی میافزاید ولی مقدار قبل از افزایش را برمیگردانند. اگر اپراتور افزایش، قبل از متغیر نوشته شود مثل ++i، یکی به مقدار متغیر افزوده میشود و مقدار جدید متغیر در دسترس قرار میگیرد.

اپراتورهای انتساب[1]

این اپراتورها برای تعیین یا تغییر مقدار پیشین یک متغیر استفاده می‌شوند. لیست این

[1]. Assignment operators

اپراتورها با توضیح آن‌ها در جدول زیر آمده است:

اپراتور	توضیح
=	اپراتوری که متغیر را با مقدار راست خود مقداردهی میکند.
+=	a += b به معنی a = a + b است.
-=	a -= b به معنی a = a – b است.
*=	a *= b به معنی a = a * b است.
/=	a /= b به معنی a = a / b است.
%=	a %= b به معنی a = a % b است.

مثال ۱)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int a = 4;
   a += 10;
   cout << a << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
14
```

هنگام استفاده از این اپراتور، اپراند سمت چپ آن باید lvalue و قابل مقداردهی باشد. lvalue مقداری است که به یک شی (فضای پیوستهای از حافظه) تلقی میشود (مثل یک متغیر)؛ در مقابل rvalue، lvalue هر مقداری است که lvalue نباشد. برای مثال:

```
int a = 0, b = 3;
a + b = 13; // error
```

عبارت a + b یک مقدار موقت و از نوع rvalue است در نتیجه مقداردهی آن بیمعنی است.

اپراتورهای ربطی[1]

این اپراتورها روابط ریاضی مساوی، بزرگتری، کوچکتری و ... دو اپراند را چک میکنند و true و یا false برمی‌گردانند. اگر a و b به ترتیب اعداد 4 و 2 باشند، در جدول زیر نتایج آنها بررسی می‌شود:

اپراتور	توضیح	نتیجه
==	برابری مقادیر اپراندها را چک می‌کند در صورت برابر بودن، true و در غیر این صورت false	a==b میدهد false
!=	برابری مقادیر اپراندها را چک می‌کند در صورت برابر نبودن، true و در غیر این صورت false	a!=b می‌دهد true
>	در صورت بزرگتر بودن اپراند چپ از راست، true و در غیر این صورت false	a>b می‌دهد true
<	در صورت کوچکتر و مساوی بودن اپراند چپ از راست true و در غیر این صورت false	a<b می‌دهد false
>=	در صورت بزرگتر و یا مساوی بودن اپراند چپ از راست true و در غیر این صورت false	a>=b میدهد true
<=	در صورت کوچکتر و یا مساوی بودن اپراند چپ از راست true و در غیر این صورت false	a<=b میدهد false

با کاربرد این اپراتور در آینده آشنا خواهیم شد. با این حال در مثال زیر نتایج این

[1]. Relational operators

اپراتورها نشان داده شده:

مثال ۱)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int a = 4, b = 10, c = 4;
   cout << (a < b) << '\n';
   cout << (a == c) << '\n';
   cout << (b < c) << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
1
1
0
```

از نظر عددی false برابر صفر و true، یک است و cout نیز مقدار آنها را با ۰ و ۱ نمایش میدهد. برای چاپ خود عبارت false یا true، باید فرمت std::boolalpha برای std::cout تعیین شود.

برای مثال:

```
cout << boolalpha;
cout << false << '\n'; // false
cout << true << '\n';  // true
```

برای لغو کردن این فرمت، باید فرمت std::noboolalpha را تعیین کرد. مثل:

```
cout << noboolalpha;
```

اپراتورهای منطقی[1]

این اپراتور روی ۲ اپراند بولین (و یا هر اپراندی که به بولین تبدیل شود) اعمال میشود و true یا false را بر می‌گرداند. اگر b و a به ترتیب false و true باشند:

[1]. Logical operators

اپراتور	توضیح	نتیجه
&&	به معنی **و** که اگر هر دو اپراند true بود true را برمیگرداند.	(a && b) می‌دهد false
||	به معنی **یا** که اگر حداقل یکی از دو اپراند true بود true را برمیگرداند.	(a || b) میدهد true
!	عبارت بولین را برعکس می‌کند. مثلاً اگر عبارت true بود آن را به false تغییر می‌دهد.	a! میدهد false

مثال ۱) برنامه‌ای که شامل اپراتورهای منطقی است:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int a = 4, b = 10, c = 20;
   cout << ((a<b) && (b<c)) << '\n';
   cout << ((a<b) || (b>c)) << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
1
1
```

توضیح) در دستور چاپ اول به دلیل اینکه هر دو عبارت true بود کل عبارت درون پرانتز true و برنامه، 1 را در خروجی چاپ کرد. در چاپ بعدی چون یکی از آن‌ها (اولی) صحیح است، کل عبارت صحیح می‌شود و دوباره 1 در خروجی چاپ می‌شود.

استفاده از پرانتز () تقدم عبارت درون خود را بالا می‌برد. برای مثال:

```
(2 + 4) * 5;
```

مانند تعیین اولویت در ریاضی، اول درون پرانتز حساب سپس نتیجه‌اش در 5 ضرب

می‌شود.

به اپراتورهایی که روی **یک** اپراند اعمال می‌شوند مانند ++، اپراتور یگانی (unary) و به اپراتورهایی که روی دو اپراند اعمال می‌شوند، مثل +، اپراتـور باینری (binary) گفتـه میشود.

اولویت بعضی از اپراتورها از بالا به پایین به صورت زیر است:

اپراتور	توضیح	وابستگی
a++ و a--	پسوند افزایش/کاهش	چپ به راست
a++ و a--	پیشوند افزایش/کاهش	راست به چپ
a+ و a-	اپراتور یگانی جمع و تفریق	راست به چپ
!	اپراتور منطقی	راست به چپ
a*b و a/b و a%b	ضرب، تقسیم و باقیمانده	چپ به راست
a+b و a-b	جمع و تفریق	چپ به راست
> و >= < و <=	اپراتورهای منطقی	چپ به راست
== و !=	اپراتورهای منطقی	چپ به راست
&&	اپراتورهای منطقی	چپ به راست
||	اپراتورهای منطقی	چپ به راست
=	اپراتور انتساب	راست به چپ
+= و -=	اپراتورهای انتساب	راست به چپ
*= و /= و %=	اپراتورهای انتساب	راست به چپ

ثوابت[1]

ثوابت در برنامه عباراتی هستند که مقدارشان ثابت است و نمی‌تواند تغییر کند. لیترال‌ها ثوابتی هستند که برای کمپایلر از پیش تعریف شده‌اند. برای مثال وقتی می‌نویسیم:

```
int a = 5;
```

عدد 5 یک لیترال است. از نظر برنامه نویسی چون 5 یک ثابت است دستور زیر صحیح نیست:

```
5 = 3;
```

لیترال‌ها به چند دسته تقسیم می‌شوند.

۱. اعداد صحیح[2]

در مثال قسمت قبل، ۵ یک لیترال عدد صحیح است. در C++ علاوه بر اعداد صحیح دهدهی، اعداد اکتال، هگزادسیمال و باینری نیز از نوع لیترال عدد صحیح‌اند. به طوری که عدد اکتال با یک 0، هگزادسیمال با 0x (یا 0X) و باینری با 0b (یا 0B) قبل از ارقامش مشخص میشود. برای مثال، ۴ عبارت:

```
25
031
0x19
0b00011001
```

با هم برابر و از نوع لیترال عدد صحیحاند.

با قرار دادن یک سری پسوند به لیترال عدد صحیح، می‌توان نوع لیترال را از یک نوع دادههای خاص تعیین کرد. پسوندها به صورت زیراند:

تغییر دهنده‌ی نوع	پسوند
unsigned	u یا U

[1]. Constants
[2]. Integer numerals

l یا L	long
ll یا LL	long long

پسوند unsigned با دو پسوند دیگر می‌تواند ترکیب شود. برای مثال ul به معنی unsigned long است. مثال:

```
55u // unsigned
55l // long
55ul // unsigned long
```

در غیر این صورت، نوع لیترالهای عدد صحیح از نوع اولین نوع دادهای است که میتواند بر اساس لیست زیر آن را ذخیره کند (این لیست بر اساس پایه و پسوند لیترال است):

.های عدد صحیح قابل تعیین است‌هایی که برای لیترال نوع		
پسوند	دهی‌های ده‌پایه	های باینری، اوکتال یا هگزادسیمال‌پایه
بدون پسوند	int long int long long int	int unsigned int long int unsigned long int long long int unsigned long long int
u یا U	unsigned int unsigned long int unsigned long long int	unsigned int unsigned long int unsigned long long int
l یا L	long int unsigned long int long long int	long int unsigned long int long long int unsigned long long int
l/L و u/U	unsigned long int unsigned long long int	unsigned long int unsigned long long int
ll یا LL	long long int	long long int unsigned long long int
ll/LL و u/U	unsigned long long int	unsigned long long int

به عنوان مثال لیترال عدد صحیح در خط زیر از نوع unsigned long long تعیین میشود:

```
cout << 12345678912345678 91ULL << '\n'
```

در مقداردهیها، بین انواع مختلف عددی یک سری تبدیل به صورت خودکار صورت میگیرد. برای مثال در دستور زیر:

```
double d = 10;
```

d از نوع double با مقدار ۱۰ (لیترال از نوع int) مقداردهی میشود. در نتیجه در هر مقداردهی نیازی به تعیین نوع لیترال متناسب با نوع متغیر نیست.

۲. اعداد اعشاری[1]

این لیترال‌ها بیانگر اعداد اعشاری در برنامه هستند که با یک نقطه (.) اعشارشان تعیین میشود. علاوه بر اعشار، با استفاده از e (به معنی **عدد** ضرب در ۱۰ به توان x و x عددی است که بعد از e قرار می‌گیرد) نیز میتوان مقدار آن را تعیین کرد. برای مثال:

```
1.42353 // 1.42353
```

و:

```
2.4e11 // 2.4 * 10^11
```

دو لیترال قابل قبولاند.

مقادیر این نوع لیترال از نوع double است ولی مانند لیترال‌های عدد صحیح، در صورت نیاز می‌توانند توسط کمپایلر به انواع داده‌ی دیگر تبدیل شوند. به عنوان مثال:

```
float a = 4.2;
```

۴.۲ از double به float تبدیل میشود.

با استفاده از پسوندهای زیر می‌توان نوع داده را به طور خاص به نوع داده‌های float یا long double تغییر داد.

پسوند	نوع داده
f یا F	**float**

[1]. Floating point numerals

long double	l یا L

با قرار دادن پیشوند 0x یا 0X نیز میتوان لیترالهای عدد اعشاری را از نـوع هگزادسـیمال تعیین کرد.

در لیترال‌های عددی به طور کلی، با استفاده از کتیشن تکی ' میتوان بین ارقـام فاصـله گذاشت تا باعث خوانایی بهتر شود. مثل:

```
int a = 1'000'000'000;
float b = 1'000.5;
```

۳. کاراکتر و رشته[1]

کاراکتر یک حرف، عدد یا سمبل قابل قبول در انکودینگ[2] است. یک کـاراکتر در دو تـک کتیشن '' قرار می‌گیرد و نوع داده‌ی آن char است. مانند:

```
'x'
```

مثال ۱) برنامه‌ای که متغیر آن با کاراکتر مقداردهی اولیـه میشـود و سپس مقـدار آن در خروجی نمایش مییابد:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   char a = 'w';
   cout << a << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
w
```

به مجموعه‌ای از کاراکترها رشته گفته می‌شود. یک رشـته در کوتیشـن دو تـایی "" قرار می‌گیرد. مثل:

[1]. Character and string
[2]. Encoding

```
"this is a sentence."
```

یک سری کاراکترهای خاص با \ (بک اسلش) شروع میشوند و معنی خاصی برای کمپایلر دارند. لیست و کاربرد این کاراکتر ها در جدول زیر آمده:

کاراکتر	توضیح
\n	افزودن خط جدید
\r	رفتن به اول خط
\t	تب
\v	تب عمودی
\b	بک سپیس
\f	فرم فید
\a	به صدا درآوردن صدای سیستم
\'	کتیشن تکی
\"	کتیشن دوتایی
\?	علامت سوال
\\	بک اسلش

این کاراکترها escape sequence نام دارند. برای مثال:

```
cout << "This \v can \t be \n anything\n";
```

خروجی زیر را تولید میکند:

```
This
      can   be
 anything
```

درون رشته اگر یکی از کاراکترهای escape sequence به یک کاراکتر دیگر بچسبد کمپایلر اولین کاراکتر بعد از \ را به حساب می‌آورد.

برای مثال:

```
cout << "This is a single\ttab" << '\n';
```

خروجی زیر را تولید میکند:

```
This is a single          tab
```

اگر بین چند رشته یک کاراکتر خالی مثل space، تب یا خط جدید قرار گیرد، کمپایلر رشته‌ها را به هم می‌چسباند و یک رشته‌ی بزرگ‌تر ایجاد می‌کند.

مثلاً:

```
cout << "a string" " another string" << '\n';
```

خروجی زیر را دارد:

```
a string another string
```

برای ادامه دادن یک رشته و نوشتن ادامه‌ی آن در خط بعد، از یک \ در انتهای خط استفاده می‌شود. مثلاً:

```
"This is a \
single string"
```

برابر است با:

```
"This is a single string"
```

لیترالهای رشته میتوانند پیشوند u8، u، U یا L بگیرند که به ترتیب رشته را با انکودینگ utf-8، utf-16، utf-32 یا از نوع رشته wide تعیین میکنند. برای مثال:

```
cout << u8"فارسی" << '\n';
```

یک رشتهی فارسی را چاپ میکند.

کاراکترهای رشتهی wide از نوع wchat_t است که بسته به پیاده سازیهای مختلف معنی خاص میدهد.

به طور مشابه لیترالهای کاراکتر نیز پیشوندهای u8، u، U یا L میگیرند که به معنای انکودینگ utf-8، ucs-2، ucs-4 یا کاراکتر wide است.

علاوه بر لیترالهای ذکر شده، لیترال‌های بولین[1] نیز متشکل از true و false اند که به مقدار صحیح یا غلط تلقی می‌شود.

فرق std::endl با '\n'

در بعضی از کتابها و کدهای C++ برای افزودن خط جدید در کنسول، به جای استفاده از کارکتر '\n'، از std::endl استفاده میشود. برای مثال به جای دستور زیر:

```
cout << 4 << '\n';
```

از دستور زیر استفاده میکنند:

```
cout << 4 << endl;
```

تفاوت endl با کاراکتر '\n' در این است که در حالت عادی خروجی cout لزوما در هر بار نوشته شدن به خروجی ارسال نمیشود. این عملکرد cout برای افزایش سرعت ورودی و خروجی صورت میگیرد؛ به طوری که پس از رسیدن حجم بافر به یک حد معین، سپس مرحلهی ارسال حافظه به خروجی انجام میشود. endl علاوه بر قراردادن کاراکتر '\n'، بافر cout را نیز بلافاصله به خروجی ارسال میکند (اصطلاحا flush میکند). در مواقعی که نیاز به flush کردن بلافاصله در cout نیست، استفاده از '\n' مقداری سریعتر از endl خواهد بود. نیاز به flush در هر دستور cout، برای مثال زمانی ایجاد میشود که یک برنامه به خروجیِ **لحظهای** برنامهی ما وابسته است.

استفاده از endl در دستور زیر:

```
cout << 4 << endl;
```

مشابه دستور زیر اجرا میشود:

```
cout << 4 << '\n' << flush;
```

اعلان متغیر ثابت

اگر در تعریف یک متغیر قبل یا بعد از نوع دادهی آن واژهی constexpr قرار گیرد،

[1]. Boolean (bool)

متغیر از نوع متغیر ثابت تعریف میشود. برای مثال:

```
constexpr int a = 4;
```

سپس با سعی به تغییر مقدار آن، مانند دستور زیر:

```
a = 2;
```

خطا صادر خواهد شد.

متغیرهای ثابت را میتوان به قسمتهای مختلف برنامه پاس داد و اطمینان داشت که مقدار آنها عوض نمیشود. برای مثال برای ذخیره کردن یک عدد ثابت مثل pi (3.14) در یک متغیر، به دلیل اینکه تغییر یافتن این مقدار بیمعنی است، آن را در یک متغیر constexpr ذخیره میکنند.

متغیر تعریف شده از نوع constexpr میتواند به عنوان عبارت ثابت (constant expression) مثل لیترالها استفاده شود. عبارت ثابت عبارتی است که در حین کمپایل ارزیابی میشود و میتواند در مکانهایی که نیاز به این نوع عبارتها است (مثل پارامتر قالبها[1]) استفاده شود.

برای اعلان یک متغیر از نوع ثابت علاوه بر واژهی constexpr، از واژهی const نیز میتوان استفاده کرد. مقداردهی اولیهی متغیرهای const، میتواند لزوماً با مقادیر مشخص در حین کمپایل صورت نگیرد. مانند:

```
int i;
cin >> i;
const int s = i;
```

ولی اگر با مقادیر مشخص در حین کمپایل مقداردهی اولیه شود، مانند یک متغیر constexpr اعلان خواهند شد (در حین کمپایل ارزیابی میشود). مثل اعلان متغیر زیر:

```
const int i = 4;
```

[1] بررسی در فصل قالبها

ساختارهای شرطی

ساختار شرطی if[1]

ساختار شرطی `if` به برنامه این امکان را می‌دهد تا در صورت درست (`true`) بودن یک عبارت بولین، یک سری دستور را اجـرا و اختیاراً در صـورت غلـط (`false`) بـودن یـک سری دستور دیگر را اجرا کند.

فرمت ایجاد ساختار شرطی `if` به صورت زیر است:

```
   format 1
if(expr) {
   // statement(s)
}
```

expr عبارتی اســـت کـــه `false` یا `true` بـــودنش مـــورد بررســـی قرار میگـــیرد.

statement(s) نیز دستور یا دستوراتی است که در صورت درست بودن **expr** اجرا می‌شوند.

مثال ۱)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int x;
   cout << "Enter an integer: ";
   cin >> x;
   if(x<0) {
      cout << "x is negative.\n";
  }
}
```

خروجی آن به ازای ورود عدد -8 چنین می‌باشد:

```
Enter an integer: -8
```

[1]. Decision making structure

```
x is negative.
```

توضیح) این برنامه یک عدد صحیح از کاربر می‌گیرد و با ساختار شرطی بررسی میکند آیا منفی است یا خیر. در صورت منفی بودن، یک متنی را در خروجی نمایش میدهد.

اگر **statement(s)** فقط یک دستور باشد، میتوان آکولاد باز و بسته {} را برای if قرار نداد. مثل:

```
if (x<0)
   cout<<"x is negative.\n";
```

در ساختار شرطی برای اجرای یک سری دستور در صورت غلط (false) بودن شرط if، از دستور **else** استفاده میشود. با فرمت:

```
   format 2
if(expr){
   // statement(s)
} else {
   // statement(s)
}
```

مثال ۲) تکمیل *مثال ۱* به صورت زیر است:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int x;
   cout << "Enter an integer: ";
   cin >> x;
   if(x<0)
      cout << "x is negative.\n";
   else
      cout << "x is positive.\n";
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Enter an integer: 5
x is positive.
```

با استفاده از ساختار `else if` در صورت برقرار نبودن شرط `if`، یکسری دستورات دیگر را با **برقراری شرط دیگری** میتوان اجرا کرد.

format 3

```
if (expr1) {
   // statement(s)1
} else if (expr2) {
   // statement(s)2
}
```

اجرای این دستورات به این صورت است که: ابتدا **expr1** بررسی میشود؛ در صورت صحیح بودن، **statement(s)1** اجرا میگردد. در صورت عدم برقراری expr1، شرط **expr2** بررسی خواهد شد و در صورت صحت، **statement(s)2** به اجرا در می‌آید. در صورت برقرار نبودن هیچ یک از شرطها، هیچ دستوری اجرا نخواهد شد.

همچنین به تعداد نامحدودی می‌توان `else if` قرار داد ولی شرط `else` فقط یکبار میتواند نوشته شود. مثال کامل شدهی *مثال ۲* به صورت زیر است:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int x;
   cout << "Enter an integer: ";
   cin >> x;
   if (x<0)
      cout << "x is negative.\n";
   else if (x>0)
      cout << "x is positive.\n";
   else
      cout << "x is zero.\n";
}
```

نکته (۱): همانطور که در بخش اپراتورها دیدیم، برای بررسی مساوی بودن دو عبارت از اپراتور == باید استفاده شود (اپراتور = اپراتور انتساب است).

مثال:

```
int x = 3;
if(x==3)
   cout << "x is 3\n";
else
   cout << "x is not 3\n";
```

نکته (۲): با استفاده از اپراتورهای منطقی (logical) می‌توان چند عبارت را در پرانتز **if** بررسی کرد. با استفاده از این اپراتورها نیز در نهایت یک **false** یا **true** در شرط **if** ایجاد و بررسی میشود. مثال:

```
int x = 3;
if (x > 5 && x < 10)
   cout << "x's value is between 5 and 10.\n";
```

نکته (۳): در if، اگر از متغیر float در عبارت شرط استفاده کنیم، مثل:

```
float x = 1.3;
if(x == 1.3){
   // statement(s)
}
```

قسمت statement(s) در این دستورات اجرا نخواهد شد. این عملکرد به دلیل نحوهی مقداردهی اولیهی x است؛ به این صورت که در مقداردهی اولیهی x (دستور float x = 1.3) **۱.۳** از نوع double به float تبدیل میشود. در نتیجه مقدار متغیر **x** (**۱.۳** از نوع float) با **۱.۳** از نوع **double**، مقایسه میشود و مقدار false برمیگردد (زیرا در حافظه با مقادیر متفاوتی ذخیره میشوند). برای حل این مشکل، متغیر x در ساختار if باید با لیترال **۱.۳** از نوع float (با قرار دادن پسوند f) مقایسه شود.

برای مثال:

```
float x = 1.3;
if(x == 1.3f){
   // statement(s)
}
```

در این صورت statement(s) اجرا خواهند شد.

ساختار شرطی موجود دیگر علاوه بر if، swtich است. این ساختار برای بررسی یک عبارت به ازای تعداد مشخصی از مقادیر ثابت استفاده میشود. با فرمت:

```
   format 4
switch(expr){
   case constant_expr:
      // statement(s)
      break;         //Optional
   case constant_expr:
      // statement(s)
      break;         //Optional

    // you can have any number of case statements.
    default :        //Optional
       // statement(s)
```

constant_expr یک عبارت ثابت است. از **break** برای خروج از **switch** و پایان دادن به بررسی **expr** استفاده میشود. مثال:

```
switch(1) {
   case 1:
      cout << '1';
      break;
   case 2:
      cout << '2';
      break;
}
```

مقدار ۱ در خروجی نمایش مییابد.

در حالت ساده، عبارت مورد ارزیابی switch باید عدد صحیح و یا قابل تبدیل بـه عـدد صحیح باشد. همچنین در بدنهی switch میتوان به تعداد مورد نیاز case - تـا وقـتی که مقـدار آنها مجـزا باشـد - قرار داد. با بررسـی تمام caseها، دسـتور default (در صورت وجود) زمانی اجرا میشود که عبارت با هیچ caseای منطبق نباشد.

مثال ۳) این مثال پس از اجرا، دو عدد صحیح را به عنـوان ورودی و بـه دنبال آن یکی از اپراتورهای جمع، تفریق یا ضرب را دریافت میکند. در آخر نتیجه اپراتور دریافت شده بـر روی اپراندها نمایش مییابد. توجه شود char در C و C++ قابل تبـدیل بـه مقـدار عـدد صحیح است؛ به همین دلیل این نوع داده در ساختار switch قابل استفاده است:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   char o;
   int num1, num2;
   cout << "Enter two integers: ";
   cin >> num1 >> num2;
   cout << "Specify an operator +/-/*:";
   cin >> o;
   switch(o) {
      case '+':
         cout<<num1<<"+"<<num2<<"="<<num1+num2;
         break;
      case '-':
         cout<<num1<<"-"<<num2<<"="<<num1-num2;
         break;
      case '*':
         cout<<num1<<"*"<<num2<<"="<<num1*num2;
         break;
      default:
         cout<<"Error! operator is not supported\n";
         break;
```

```
    }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Enter two integers: 4     6
Specify an operator +/-/*: +
4+6=10
Enter two integers: 4     6
Specify an operator +/-/*: *
4*6=24
```

با نوشته نشدن break، برنامه پس از تطبیق عبارت switch با اولین case تمام caseهای دیگر را نیز اجرا میکند:

```
int i = 2;
switch(i) {
   case 1: cout << "1";
   case 2: cout << "2";   // starts here
   case 3: cout << "3";
}
```

خروجی ۲۳ را خواهد داشت.

لازم به ذکر است که ساختار switch با if-else قابل پیادهسازی است. مثلا switch و if-else زیر با هم برابراند:

```
switch(x) {
   case 1 : //…
   case 2 : //…
}

if(x==1) //…
else if(x==2) //…
```

ولی علاوه بر اینکه syntax، switch واضحتری دارد، کمپایلرها معمولاً کدهای بهینهتری برای switch تولید میکند.

در C++17 ساختارهای if و switch میتوانند شامل اعلان متغیر و یا یک عبارت قبل

از بررسی شرط نیز باشند. مثل:

```
if(int x = 10; x < 3) { /* … */ }
```

در ادامه به بررسی این ساختار و کاربردهای آن میپردازیم.

ساختارهای تکرار[1]

با ساختار تکرار می‌توان یک یا چند دستور را بیش از یک بار اجرا کرد.

۳ نوع ساختار تکرار در **C++** وجود دارد:

۱. تکرار **while**

۲. تکرار **do...while**

۳. تکرار **for**

و در آخر با **goto** نیز آشنا خواهیم شد.

تکرار while

با استفاده از این دستور درستی (true بودن) یک عبارت بررسی می‌شود و در صورت صحیح بودن، دستورات این حلقه به اجرا درخواهند آمد. پس از اتمام، مجددا صحت عبارت بررسی می‌شود و در صورت برقراری، دوباره دستورات حلقه اجرا میشوند؛ این مراحل بینهایت بار تکرار می‌شود تا وقتی که عبارت شرط غلط (false) شود که در این صورت برنامه از ساختار شرطی خارج خواهد شد.

فرمت آن به صورت زیر است:

```
   format{1}
while(expr) {
   // statment(s)
}
```

مثال ۱) برنامه‌ای که شامل یک ساختار شرطی while است:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int a = 0;
   while(a < 10) {
      cout << "A ";
```

[1]. Loop structures

```
        ++a;
    }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
A A A A A A A A A A
```

توضیح) متغیری به نام a اعلان و با 0 مقداردهی میشود. در این برنامه تا وقتی که a کمتر از 20 است رشته‌ای در خروجی نمایش مییابد.

نکته: به متغیرهای مانند متغیر a در مثال بالا، که برای شمارش استفاده میشوند شمارنده[1] می‌گویند.

در شرط while مانند ساختار شرطی از اپراتورهای منطقی نیز میتوان استفاده کرد. مثل:

```
while(a < 40 || b < 45) {
    // …
}
```

تکرار do…while

فرمت آن به صورت زیر است:

```
    format{2}
do {
    // statement(s);
} while(expr);
```

این حلقه بر خلاف حلقه‌ی while، expr را در انتهای حلقه چک می‌کند. تا زمانی که شرط برقرار باشد اجرای دستورات تداوم مییابد و در غیر این صورت برنامه از حلقه خارج می‌شود.

مثال ۲)

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

[1]. Counter

```
int main () {
   int a = 0;
   do {
      cout << a << '\n';
      a++;
   } while( a < 5 );
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
0
1
2
3
4
```

در do…while، در صورت غلط بودن شرط while نیز دستورات do حداقل یک بار اجرا میشوند.

برای خروج از یک حلقه علاوه بر false شدن عبارت مورد ارزیابی، اگر برنامه به دستور break برسد نیز از حلقه خارج خواهد شد.

مثال ۳)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main () {
   int a = 0;
   while( a < 100 ){
      cout << a << ' ';
      ++a;
      if (a>5){
          cout<<"\nThe break has been executed.\n";
          break;
      }
   }
```

```
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
0 1 2 3 4 5
The break has been executed.
```

دستور continue تا حدودی همانند دستور break عمل می‌کند با این تفاوت که باعث خروجی برنامه از حلقه نمیشود ولی باعث نادیده گرفته شدن دستورات بعد از خود در حلقه میشود. پس از نادیده گرفته شدن بقیهی دستورات، در صورت برقراری شرط، بلوک while دوباره اجرا میشود؛ در غیر این صورت حلقه به پایان خواهد رسید.

مثال ۴)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main () {
   int x = 0;
   while(x < 5){
     if(x==3){
       ++x;
       continue;
     }
     cout << x << ' ';
     ++x;
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
0 1 2 4
```

به طور کلی از در تمام ساختارهای حلقه از break و continue می‌توان استفاده کرد.

مثال ۵) مثالی که شامل while و if است:

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
int main() {
   int a, b;
   bool running = true;
   while(running == true) {
      cout << "enter two numbers: ";
      cin >> a >> b;
      if(a == 0 && b == 0) {
         cout << "exiting while loop\n";
         running = false;
      } else {
         cout << "sum = " << a + b << '\n';
      }
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
enter two numbers: 2 40
sum = 42
enter two numbers: 4 7
sum = 11
enter two numbers: 0 0
exiting while loop
```

حلقه‌ی for

فرمت تعریف for به صورت زیر است:

```
   format{3}
for(init-statement; condition; increment/decrement)
{
   // statement(s)
}
```

init-statement قسمت مقداردهی اولیهی حلقه است،

condition تا زمانی که true است حلقه ادامه پیدا می‌کند،

increment/decrement محل افزایش یا کاهش مقدار شمارنده است.

مثال ۶)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   for(int c = 0; c < 10; ++c) {
      cout << c << ' ';
   }
   cout << '\n';
}
```

توضیح) خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
```

در قسمتهای دستور for با قرار دادن کاما (,) در بین عبارات می‌توان چند متغیر را در حلقه اعلان، مقدار افزود/کم کرد و یا بررسی نمود. مانند:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   for(int c = 0, i = 10; c != i; ++C, i--) {
      cout << c << ' '  << i << '\n';
   }
}
```

خروجی زیر را تولید میکند:

```
0 10
1 9
2 8
3 7
4 6
```

استفاده از اپراتور ++ و -- قبل یا بعد از متغیر در for تاثیری در عملکرد حلقه ندارد؛ ولی در بعضی از متغیرهای استفاده از این اپراتورها قبل از متغیر (مثل ++i) میتواند منجر به

افزایش سرعت اجرا شود. زیرا در این نوع ساختار، ابتدا یک واحد به مقدار اپرانـد افزوده و سپس عبارت ارزیابی میشود. هنگام قرارگیری این اپراتورها بعد از متغیر ابتدا یک کپی از اپراند ایجاد و پس از افزایش مقدار متغیر، کپی ایجاد شده (با مقـدار قبـل) برمیگردد. در انواع اساسی مثل int البته تفاوتی در سرعت ایجاد نخواهد شد ولی به عنوان یک قاعده کلی، در صورتی که این اپراتورها را بتوان قبـل از اپرانـدها اسـتفاده کرد، بایـد نسبت بـه قرارگیری این اپرتورها بعد از اپراندها ترجیح داده شوند.

قسـمت مقـداردهی اولیهی for، بـه جای اعلان متغـیر میتوانـد شـامل یـک عبارت (expression) که با ; به پایان رسیده نیز باشد. برای مثال:

```
int n = 1;
for(n += 3; n < 10; ++n) {
   cout << n << ' ';
} // 4 5 6 7 8 9
```

سه قسـمت ساختار for همچـنین اختیاری اسـت و میتواننـد نوشـته نشـوند. البتـه در صورت عدم نوشته شدن آنها نیز قرارگیری **;** ها الزامی است. برای مثال ساختار for زیر یک دستور صحیح:

```
for(;;){

}
```

همچنین دستور for همیشه با یک دستور while قابل بازنویسـی اسـت. مثلاً ساختار for زیر را:

```
for(int i = 0; i < 10; ++i){
   // …
}
```

را با while میتوان به صورت زیر نوشت:

```
{
   int i = 0;
   while(i < 10){
```

```
        // …
        ++i;
    }
}
```

ولی ساختار for برای زمانی که نیاز به متغیر مثل شمارنده در حلقه داریم واضحتر است.

دستور goto

این دستور جز دستورات شرطی نیست ولی معمولاً در این ساختارها قرار می‌گیرد. این دستور باعث ارجاع بیشرط برنامه به مکان نشانه گذاری شده میشود. استفاده از این دستور معمولاً توصیه نمی‌شود چرا که ویرایش برنامه را برای برنامه‌نویس سخت میکند. در اکثر مواقع برنامه را میتوان با استفاده از دستورات دیگر به نحو بهتری کدنویسی کرد. فرمت آن به صورت زیر است:

```
   format {4}
goto label;
.
.
.
label:
```

مثال ۷)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main () {
   int x = 5;
   while( x < 14 ){
      if(x == 10) {
          x = x + 1;
          goto stop;
       }
       cout << x << ' ';
```

```
        x += 1;
    }
    stop:
    cout << "\njumped to stop";
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
5 6 7 8 9
jumped to stop
```

تابع (۱)

تابع[1] مجموعه‌ای از دستورات است که در یک بلوک تعریف و سپس در برنامه اجرا (اصطلاحاً فراخوانی) میشود. یک تابع می‌تواند هیچ، یک و یا چند ورودی بگیرد و مجموعه‌ای از دستورات را اجرا کند و اختیاراً یک خروجی را نیز برگرداند. پس تابع لزوماً ورودی ندارد و همچنین تابع ممکن است همانند توابع ریاضی مقداری را بازگرداند و یا اساساً فاقد مقدار بازگشتی باشد.

تعریف تابع

فرمت تعریف یک تابع به صورت زیر است.

```
returnType f(optional_parameters) {
   // statement)s(
}
```

که در آن:

`returnType` نوع مقدار بازگشتی تابع، مثل `int`، `double` و ... است. در صورتی که هیچ مقدار بازگشتی نداشته باشد تابع از نوع `void` تعریف میشود. `f` نام تابع و `optional_parametes` ورودی‌های تابع است. به این ورودی‌ها **پارامتر**[2] گفته می‌شود و به کل پارامترها **لیست پارامتر**[3] میگویند. لیست پارامتر، اختیاری است و می‌تواند تابع هیچ پارامتری (هیچ ورودی) نداشته باشد.

همچنین اگر نوع بازگشتی تابع `void` نباشد، تابع، مقداری را باید با دستور `return` برگرداند (برنامه هنگام اجرای تابع، زمانی که به دستور `return` برسد مقداری مقابل آن را میگرداند و از تابع خارج می‌شود).

`statement(s)` دستوراتی است که در {} قرار می‌گیرد. به کل این دستورات ***بدنه‌ی***

[1]. Function
[2]. Parameter
[3]. Parameter list

تابع[1] گفته میشود.

به تعریف تابع بدون بدنه، اعلان تابع میگویند. مثلاً:

```
returnType f(optional_parameters);
```

اعلان تابع f است.

فراخوانی تابع[2]

به اجرای تابع در برنامه نویسی اصطلاحا فراخوانی میگویند. فرمت فراخوانی تابع به صورت زیر است:

```
f(optinal_aruguments);
```

که در آن: f نام تابع تعریف شده و optinal_arguments مقادیری است که به عنوان ورودی به تابع پاس داده می‌شود. این مقادیر **آرگومان** نام دارند. هنگام فراخوانی تابع، آرگومانها طبیعتاً باید به ترتیب، تعداد و نوع پارامترهای تابع نوشته شوند. پارامترهای تابع نیز با این آرگومانها مقداردهی میشوند.

مثال ۱) برنامه‌ای که شامل تابعی است که دو آرگومان از نوع int می‌گیرد و بزرگترین آن‌ها را بر می‌گرداند.

```
#include <iostream>
using namespace std;

int max(int a, int b) {
   if(a > b) {
       return a;
   } else {
      return b;
   }
}

int main() {
   cout << max(2,3) << '\n';
```

[1]. Function's body
[2]. Function call

```
   cout << max(5,4) << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
3
5
```

توضیح) تابع max در این مثال، دو آرگومان پاس داده شده را با ساختارهای شرطی بررسی میکند و بزرگترین آن‌ها را برمیگرداند.

تاکنون تمام برنامه‌هایی که نوشتیم شامل تابع خاصی به نام main بوده است. با اجرای برنامه، سیستم به دنبال این تابع و اجرا آن میپردازد. **نوع** مقدار بازگشتی این تابع باید از نوع int تعیین شود و **مقدار** بازگشتی (return) آن اگر صفر باشد به معنای به انتها رسیدن برنامه بدون خطا و اگر عدد غیر از صفر باشد - تقریباً در تمام سیستم - به معنی اتمام برنامه با خطا است. همچنین در تابع main دیدیم که با نوشته نشدن return 0;، زمانی که برنامه به انتهای این تابع برسد نیز این دستور قرار خواهد گرفت.

مثال ۲) برنامهای که شامل یک تابع void است.

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void print_int(int n) {
   cout << "passed int = " << n << '\n';
}

int main() {
   print_int(3);
   print_int(6);
   print_int(14);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
passed int = 3
```

```
passed int = 6
passed int = 14
```

توضیح) تابع print به دلیل اینکه فقط ورودی خود را نمایش میدهد، نیازی به بازگشتن مقداری ندارد؛ به همین دلیل آنرا از نوع void تعریف کردیم.

توابع void نیز میتوانند شامل دستور return; بدون مقدار باشند. دستور return; در توابع void، اجرای تابع را قبل از رسیدن به انتهایش متوقف میکند.

مثال ۳) تابعی از نوع bool که در صورت فرد بودن پارامتر، true، در غیر این صورت false برمیگرداند.

```
bool isodd(int n){
   return n % 2;
}

//…

isodd(4); // false
isodd(3); // true
```

یکی از کاربردهای توابع جلوگیری از تکرار و یا اصطلاحا **کپی و پیست** کد است. با تابع یک سری دستورات را فقط یکبار می‌نویسیم و هر چند بار که نیاز شود آنرا را در برنامه اجرا میکنیم.

مثال) در این برنامه تابعی تعریف میکنیم که دو عدد طبیعی را گرفته و اولی را به توان دومی میرساند. برای این کار می‌توان از حلقه‌ی for استفاده کرد به طوری که شمارنده‌ی حلقه از 0 شروع و تا به n (آرگومان دوم) نرسیده، مقدار آرگومان اول را در خود ضرب کند. تابع این برنامه کابردی نیست زیرا این تابع فقط برای به توان رساندن اعداد طبیعی میتواند استفاده شود و صرفاً آن را برای آشنایی بیشتر با توابع تعریف میکنیم.

مثال ۳)

```
#include <iostream>
```

```
using namespace std;

int power(int x, int n) {
   if(n < 0) {
      cout << "negative powers are not supported.\n";
      return 0;
   }
   int tmp = 1;
   for(int i = 0; i < n; ++i) {
      tmp *= x;
   }
   return tmp;
}

int main() {
   cout << power(3, 4) << '\n';
   cout << power(2, -2) << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
81
negatives aren’t supported.
0
```

برای محاسبه‌ی توان‌های دیگر کافی است دو مقدار دیگر به تـابع پاس داده شـود (بـدون بازنویسی دوبارهی حلقه). به طور کلی برای محاسبهی توان در برنامه، از تابع pow از هِدِر <cmath> میتوان استفاده کرد. این تابع، مانند تابعی که نوشتیم دو آرگومان را می‌گیرد و اولی را به توان دومی میرساند؛ با این تفاوت که از آن برای به توان رساندن اعداد غیر از اعداد طبیعی و مثبت نیز میتواند استفاده شود. برای مثال:

```
#include <cmath>
using namespace std;
…
pow(3, 3);    // 27
pow(4, -2);   // 0.0625
```

```
pow(3, 2.3);  // 12.5135
```

پروتوتایپ تابع [1]

در C++ اجرای دستورات از خط اول شروع می‌شود و با رسیدن به return در تابع main به اتمام می‌رسد. تمام مثال‌هایی که تاکنون در مورد توابع بررسی کردیم، توابع قبل از main تعریف و سپس در main استفاده میشوند. اگر توابع را بعد از تابع main تعریف کنیم، هنگام فراخوانی در main پیغام خطا صادر خواهد شد؛ زیرا با وجود این که این توابع در برنامه موجودند، هنگام اجرای main، برنامه از وجود آن‌ها مطلع نمی‌شود. برای جلوگیری از این مشکل می‌توان تابع را قبل از main اعلان کرد و سپس تعریف آن را بعد از main قرار داد. به این کار اعلان پروتوتایپ گفته می‌شود.

مثال ۴)

```
#include <iostream>
using namespace std;

void f();

int main() {
   f();
}

void f() {
   cout << "f()\n";
}
```

به این ترتیب، اعلان با تعریف تابع فرق دارد. اعلان فقط وجود تابع را به کمپایلر اطلاع می‌دهد و بدنه‌ی آن در جای دیگری از برنامه (حتی در یک فایل دیگر) میتواند قرار گیرد.

هنگام اعلان توابع میتوان فقط نوع داده‌ی پارامترها را نوشت. مثلاً در مثال ۲ اعلان تابع میتواند به صورت زیر نوشته شود:

[1]. Function prototype

```
void printMsg(int);
```

سربارگذاری توابع[1]

در برنامه میتوان چند تابعِ همنام و متفاوت در تعداد یا نوع داده‌ی پارامترها تعریف کرد. در این صورت با فراخوانی، تابع مورد نظر با توجه به پارامتر(های) مناسب، اجرا می‌شود. به این عمل **سربارگذاری تابع** گفته می‌شود.

مثال ۵) برنامهای که سربارگذاری توابع را نشان میدهد:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void f(int a) {
   cout << "a as int = " << a << '\n';
}

void f(double a) {
   cout << "a as double = " << a << '\n';
}

int main() {
   f(3);
   f(4.5);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
a as int = 3
a as double = 4.5
```

پارامترهای پیش فرض[2]

در اعلان توابع می‌توان برای یک سری از پارامترها مقادیری پیش فرض قرار داد تا در صورت عدم تعیین آنها هنگام فراخوانی، پارامترها با این مقادیر مقداردهی شوند.

[1]. Function overloading
[2]. Default parameters

مثال ۶)

```
#include <iostream>
using namespace std;

void f(int a, int b = 4) {
   cout << "a = " << a << " b = " << b << '\n';
}

int main() {
   f(2,3);
   f(4);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
a = 2b = 3
a = 4b = 4
```

توضیح) در اولین فراخوانی تابع، پارامتر دوم تابع f یعنی b با مقدار پیش فرض 4 مقداردهی میشود. همچنین زمانی که برای یک آرگومان مقدار پیش فرض تعیین میشود، برای کل آرگومانهای بعد از آن نیز باید مقادیر پیش فرض تعیین کرد؛ زیرا فراخوانی یک تابع به صورت زیر جایز نیست:

```
f(,2); // error
```

سربارگذاری توابع با وجود پارامترهای پیش فرض امکان‌پذیر است. البته نباید آرگومان‌های پیش فرض باعث از بین رفتن تفاوت در فراخوانی توابع شود. اعلان توابع و دستور فراخوانی زیر خطای کمپایلر را به همراه دارد:

```
void f(int a, int b = 3);
void f(int a);
f(1); // error
```

زیرا با پاس دادن عدد int، هر دو تابع قابل اجرا اند و کمپایلر از فراخوانی تابع مورد نظر اطلاع نمییابد.

در استانداردهای جدید نوع بازگشتی تابع میتواند از نوع auto تعیین شود؛ در این

صورت نوع بازگشتی تابع بر اساس نوع مقدار return تعیین خواهد شد. برای مثال:

```
auto add(int a, int b){
   return a + b;
}
add(3,5); // 8
```

نوع بازگشتی تابع از نوع عبارت a+b، یعنی int، تعیین میشود.

مثال ۷) برنامهای که بـرای پیـدا کردن و نمایش ریشـهی یـک تـابع از روش دوبخشـی[1] استفاده میکند. در این برنامه یک مثال کاربردی از توابع را بررسی میکنیم:

```
#include <iostream>
#include <cmath>
using namespace std;

double f(double x) {
    return pow(x, 2) + x - 1;
}

void bisection(double a, double b, int m) {
   double fa = f(a), fb = f(b);
   if (fa * fb > 0) {
      cout << "[error] f(a) and f(b) have same sign.\
n";
   } else {
      double interval = b - a;
      for(int n = 0; n < m; ++n) {
         interval /= 2;
         double c = a + interval;
         double fc = f(c);
         if(fa * fc < 0) {
            b = c;
            fb = fc;
         } else {
            a = c;
            fa = fc;
```

[1]. Bisection method

```
            }
            cout << "c: " << c << '\n';
        }
    }
}

int main() {
    int m = 20;
    bisection(0, 1, m);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
...
c: 0.618031
c: 0.618032
c: 0.618033
```

بازگشتی[1] در توابع

بازگشتی تکنیکی است که در آن یک تابع خود را فراخوانی می‌کند. توابعی که تاکنون نوشتیم اگر خود را فراخوانی کنند، یک حلقه‌ی بیپایان ایجاد می‌شود. برای جلوگیری از این حلقه، در تابع یک دستور باید قرار گیرد تا خروج از حلقه ممکن شود؛ این دستور *حالت پایه*[2] نام دارد.

مثال ۸) برنامه‌ای که با استفاده از بازگشتی مقدار فاکتوریل عدد پاس داده شده را برمی‌گرداند:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int factorial(int x) {
    if(x==1)
        return 1;
    else
```

[1]. Recursion
[2]. Base case

```
      return x*factorial(x-1);
}

int main() {
   cout << factorial(4) << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
24
```

توضیح) در مثال بالا `return 1;` حالت پایهی بازگشتی است.

مثال ۹) برنامهای که شامل تابعی است که جملههای دنبالهی nام فیبوناچی را حساب میکند و آن را برمیگرداند:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int fibonacci(int n) {
   if(n==0)
      return 0;
   if(n==1)
      return 1;
   return fibonacci(n-1) + fibonacci(n-2);
}

int main() {
   for(int i = 0; i < 10; ++i) {
      cout << fibonacci(i) << ' ';
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
0 1 1 2 3 5 8 13 21 34
```

متغیر و انواع داده (۲)

تبدیل implicit و explicit مقادیر

در صورتی که در برنامه عبارت ۲/۳ را بنویسیم، مقدار ۰ برمیگردد. برای مثال خط زیر:

```
cout << 2/3;
```

۰ را در خروجی نمایش خواهد داد. دلیل این نوع عملکرد این است که کمپایلر نوع دادهی ۲ و ۳ به طور پیش فرض از نوع int در نظر میگیرد و حاصل اپراتور تقسیم نیز از نوع int بر خواهد گشت. در این مثال خاص برای جلوگیری از این کار در این دستور میتوان یک و یا هر دو عدد را به صورت ۲.۰ یا ۳.۰ و یا با پسوند f مانند 2f و 3f نوشت تا از نوع عدد اعشاری تعیین شوند؛ اما در حالت کلی مقادیر را در صورت امکان میتوان به یکدیگر تبدیل کرد. به این عمل، **تبدیل مقدار به صورت explicit** و یا **کَست** (cast) گفته میشود. کَست به یکی از دو فرمت زیر میتواند صورت گیرد:

```
(typeName) expression;
typeName (expression);
```

روش اول از C به C++ وارد شده و روش دوم مختص C++ است. در مثال ۲/۳ برای دریافت مقدار اعشاری، با کَست کردن میتوان آنها را به صورت زیر نوشت:

```
(float)2/(float)3
```

کَست میتوان بین مقادیر عددی، اشارهگرها، رفرنسها، const و ... صورت گیرد. استفاده از دو روش کَست کردن که بررسی کردیم، آزادی زیادی به برنامه نویس میدهند. در نتیجه یکسری تبدیلها (بخصوص بین اشارهگرها) در برنامه صحیح و قابل کمپایل میشود که در اجرا ایجاد خطا میکنند. به همین منظور از روشهای دیگر کَست کردن استفاده میشود که در اینجا static_cast را بررسی می کنیم. فرمت استفاده از static_cast به صورت زیر است:

```
static_cast<targetType>(expr);
```

برای مثال، تبدیل ۲ از int به flaot به صورت زیر انجام میشود:

```
static_cast<float>(2);
```

امتیاز استفاده از static_cast، در چک شدن تبدیلها در حین کمپایل است. بـه این ترتیب از خطاهای احتمالی جلوگیری خواهد شد. استفاده از این اپراتور علاوه بـر تبـدیل مقادیر اشارهگرها، برای نوع دادههای اساسی نیز توصیه میشود: چـون با جسـتجوی واژه static_cast میتوان محل کَستها را در کدمنبع پیدا کرد.

همچنین بین مقادیر با انواع دادههای مشابه، از نوع بزرگتر به کوچکـتر و بلعکس یکسری تبدیلها به صورت خودکار و توسط کمپایلر صورت میگـیرد؛ این نـوع تبـدیلها، تبـدیلهای implicit نام دارند. برای مثال مقادیر صـحیح کوچکـتر از int (short، char، unsigned short و ...) و یا bool توسط کمپایلر به int (و یا unsigned در صورت نیاز) تبدیل میشوند. مانند:

```
short a = 3, b = 2;
short result = a + b;
```

در خط دوم ابتدا مقادیر a و b به int تبدیل، سپس نـتیجهی حاصـل از جمـع آنها بـه short تبدیل خواهد شد. این نوع تبدیل جهت افزایش سرعت اجرا صورت میگیرد. زیرا در بعضی از سیستم ها و کمپایلرها کارکردن با مقادیر کوچکتر از int مقداری کنـدتر از int است. به نـوع تبـدیل ها کـه از نـوع دادهی کوچکـتر بـه بزرگـتر صـورت میگـیرد، promotion (ارتقا) گفته میشـود. promotion بین مقـادیر اعشـار از float بـه double نیز صورت میگیرد و چون از نوع دادهی کوچکتر بـه بزرگـتر تبـدیل میشـوند، حفظ ماندن مقدار و یا اعشار آن تضمین شده است.

مثال ۱) promotion در مثال زیر قابل مشاهده است:

```
#include <iostream>
using namespace std;

void printInteger(int x){
   cout << "int passed.\n";
}
```

```
void printInteger(short x){
   cout << "short passed.\n";
}

int main() {
   short a = 1, b = 2;
   printInteger(a + b);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
int passed.
```

همچنین بین مقادیر عددی مختلف نیز میتواند تبدیل[1]هایی صورت گیرد که تاکنون نیز با آن برخورد کردهایم. برای مثال وقتی مینویسیم:

```
float a = 4;
```

مقدار ۴ از `int` به `float` تبدیل میشود و یا در دستور زیر:

```
int a = false;
```

مقدار `false` از `bool` به `int` تبدیل میشود و متغیر `a` با ۰ مقداردهی خواهد شد. قوانین و حالت های مختلف بین تبدیل های عددی و کلا بین تبدیل‌های `implicit` زیاد است و در صورت نیاز به رفرنس C++ مراجعه کنید ولی نکتهی قابل ذکر این است که در تبدیل های عددی (`numeric conversion`) بر خلاف `promotion` مقدار داده با تبدیل شدن میتواند **تغییر کند**. برای مثال در دستور زیر:

```
int a = 1.5;
```

مقدار اعشار ۱.۵ از بین می رود و متغیر `a` با ۱ مقداردهی خواهد شد. به این نوع تبدیلهای عددی که از نوع بزرگتر به کوچکتر صورت میگیرد تبدیلهای `narrowing` گفته میشود؛ و مانند دستور بالا، احتمال تغییر مقدار آنها وجود دارد. بعضی از کمپایلرها برای تبدیلهای `narrowing` پیغام خطا صادر میکنند ولی در تمامی کمپایلرها این دستورات کمپایل میشوند (برای الزام کمپایل شدن کدهای C یا C++ قدیمی عموماً). برای جلوگیری از تغییر مقادیر در تبدیلهای عددی در هنگام مقداردهی اولیه میتوان از {} یا ={} استفاده کرد.

[1]. Numeric conversion

برای مثال:

```
int a{1.5}; // error
```

این ساختارهای مقداردهی اولیه در استانداردهای جدید افزوده شده‌اند و نسبت بـه = و () نیز توصیه می‌شوند[1].

ناحیه (scope)

هر اسمی که در برنامه اعلان میشود (مثل اعلان متغیر) فقط در قسمت خاصی از برنامـه به نام ناحیه صحیح و قابل استفاده است. در C++ ناحیهها عبارت اند از:

۱. ناحیهی بلوک (block): متغیری که در یک بلوک {} مثل بدنهی تـابع، ساختار شرطی و ... اعلان شود، با خروج برنامه از آن بلوک غیر قابـل دسـترس میشـود. توجه شود که یک بلوک میتواند صرفا متعلق بـه یـک تـابع، ساختار شرطی و ... نباشد. برای مثال:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   {
      int a = 1;
      cout << a << '\n';
   }
   cout << a << '\n'; // error!
}
```

۲. ناحیه‌ی namespace: اسمی کـه در یـک namespace اعلان میشـود قابـل دسترس در کل اجزای namespace و ناحیهای است که این عضـو با using در آن معرفی شده. با وجود اینکه namespaceها را در فصلی جداگانه بررسـی خواهیم کرد، در اینجا با مثالی کـه شـامل اعلان متغـیر در یـک namespace است، آشنا می شویم.

مثال ۸)

```
#include <iostream>
```

[1] با این وجود در این کتاب از = جهت مقداردهی اولیه متغیرهای int و ... استفاده شده؛ زیرا تمام خوانندگان عزیز لزوماً از کمپایلر جدید استفاده نمیکنند.

```
namespace a{
   int x;
}

using namespace a;
using namespace std;

int main() {
   cout << x << '\n';
}
```

همچنین اگر متغیر خارج از هر بلوک، تابع و ... در بالاترین سطح کد اعلان شود، متعلق به محدودهی یک namespace به نام global namespace است. اسم تعریف شده در این نوع namespace قابل دسترس در واحد ترجمه (translation unit)ای است که در آن تعریف میشود. در مثال هایی که تاکنون بررسی کردیم، واحد ترجمه کل برنامه است. به متغیرهایی که در ناحیهی global namespace اعلان شدهاند متغیر سراسری[1] نیز میگویند.

مثال ۲) برنامهای که دسترسی به یک متغیر سراسری را نشان میدهد:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int a = 10;
void print1(){ cout << a << '\n';}
void print2(){ cout << a << '\n';}

int main() {
   print1();
   print2();
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
10
10
```

۳. ناحیهی پروتوتایپ تابع: اگر اسمی در لیست پارامترهای اعلان تابع نوشته شود و تعریف این تابع نوشته نشود، اسم اعلان شده در انتهای اعلان تابع از دسترس خارج میشود.

[1]. Global variables

به متغیری که در یک بلوک مانند تابع و یا در پارامتر تابع اعلان شده، متغیر محلی[1] میگویند.

۴. ناحیهی تابع: با اعلان یک label در بدنهی تابع، دسترسی به آن میتواند در کل تابع (حتی قبل از اعلان آن) صورت گیرد. برای یادآوری یک label در یکی از سه مکان زیر قرار می‌گیرد:
   - target در goto
   - case در ساختار switch
   - default در ساختار switch

   برای مثال:

```
void f() {
   {
      goto label; // label decled after this line
     label:;
   }
   goto label; // label ignores block scope
}
```

۵. ناحیهی enumeration (فصل متغیر و انواع داده (۳))
۶. ناحیه‌ی کلاس (فصل کلاس (۱))
۷. ناحیه‌ی پارامتر قالب (فصل قالبها)

اکنون که با مفهوم ناحیه در C++ آشنا شدیم به ساختار شرطی if و switch با قسمت مقداردهی اولیه میپردازیم. در بعضی از مواقع (بخصوص در انواع دادههای پیشرفتهتر) یک متغیر را گاهی اوقات فقط برای استفاده در if یا switch اعلان و مقداردهی میکنیم. برای مثال:

```
bool status() {
    bool c = f();
    if( c != true ){
         return c;
    }
    //…
}
```

[1]. Local variable

با اعلان c، اسم این متغیر در کل ناحیهی تابع status() قرار میگیرد (اصطلاحا نشت (leak) میکنـد). یکی از راههای محـدود کردن نـاحیهی این متغـیر، قرار دادن اعلان و مقداردهی آن با if در یک ناحیهی مجزا است (با {}). برای مثال:

```
bool status() {
   {
      bool c = f();
      if( c != true ){
         //…
          return c; // c also used here
      }
      //…
   }
}
```

در C++17 این کار را به صورت زیر و کوتاهتر میتوان انجام داد:

```
if(bool c = f(); c != true ){
   return c; // c also used here
}
```

متغیری که در این ساختار اعلان و یا مقداردهی شده، در بلـوک else و یا else if ای که در ادامهی ساختار if قرار گرفته نیز تعریف شده است.

به طور کلی قسمت مقداردهی اولیهی این ساختار، می‌تواند شامل اعلان متغـیر و یا یـک عبارت که با ; به پایان رسیده (مثل n = n + 10;) باشد.

آرایه[1]

آرایه مجموعهای از عناصر از یک نوع داده‌است. از آرایه همانند متغیر، جهت ذخیرهی داده استفاده میشود؛ با این تفاوت که در یک آرایه، چند مقدار را میتوان هم زمان ذخیره کرد. فرمت اعلان یک آرایه به صورت زیر است:

```
data_type a[size];
```

که در آن:

`data_type` نوع داده‌ی عناصر،

`a` نام آرایه‌ای است که اعلان میشود و

`size` تعداد عناصر آرایه را مشخص می‌کند. مثلا:

```
int a[10];
```

یک آرایه از نوع `int` به نام `a` با `10` عنصر اعلان میکند به طوری که هر یک از عناصر به طور جداگانه می‌تواند مقداردهی شوند. برای دستیابی به عناصر یک آرایه، نام آرایه همراه با شمارهی عنصر مورد نظر در [] نوشته میشود.

شمارش عناصر یک آرایه همچنین از ۰ شروع می‌شود. مثلاً در آرایه‌ی `a`:

```
a[0]
```

به عنصر اول و:

```
a[4]
```

به عنصر پنجم تلقی می‌شود. به این ترتیب اگر سایز آرایه `n` باشد، ایندکس آخرین عنصر `n-1` است.

مثال ۱) برنامه‌ای که شامل یک آرایه است:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
```

[1]. Array

```
   int a[4];
   a[0] = 2;
   a[1] = 11;
   a[2] = 500;
   a[3] = 55;
   for(int i = 0; i < 4; ++i) {
        cout << "a[" << i << "]" << " = " << a[i] <<
'\n';
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
a[0] = 2
a[1] = 11
a[2] = 500
a[3] = 55
```

توضیح) ابتدا آرایه‌ای به نام a از نوع int و با 4 عنصر اعلان میشوند. در ادامه عناصر 0 تا 3 این آرایه با یک سری اعداد، مقداردهی و در ادامه با حلقه‌ی for نمایش میبابند.

برای مقداردهی عناصر یک آرایه در حین اعلان می‌توان از {} استفاده کرد. این نوع مقداردهی، مقداردهی aggregate[1] نام دارد.

مثال ۲)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int a[4] = {2, 11, 500 ,55};
   for(int i = 0; i < 4; ++i) {
      cout << "a[" << i << "]" << " = " << a[i] << '\
n';
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

[1]. Aggregate initialization

```
a[0] = 2
a[1] = 11
a[2] = 500
a[3] = 55
```

توضیح) این برنامه مانند *مثال ۱* است، با این تفاوت که آرایه با لیست {} مقداردهی میشود. توجه شود در ساختار حلقه، مقدار ایندکس در آرایههای بزرگ میتواند بیشتر از مقدار قابل ذخیره در `i` (از نوع `int`) باشد. برای جلوگیری از این مشکل، این متغیر، باید از نوع `std::size_t` که در هِدِر `<cstddef>` موجود است اعلان شود. متغیرهای این نوع داده میتوانند بزرگترین سایز یک شی یا آرایه از هر نوع را (بر حسب بایت) ذخیره کنند. با این نوع همچنین میتوان بزرگترین ایندکس هر آرایهای را نیز ذخیره کرد. این مقدار از نوع عدد صحیح مثبت است و بسته به پیاده‌سازیهای مختلف میتواند از انواع متفاوتی باشد (مثلاً `unsigned int`). حلقهی `for` در نتیجه باید به صورت زیر بازنویسی شود:

```
for(std::size_t i = 0; i < 4; ++i) { …
```

نکته: اگر تعداد عناصر آرایه از تعداد مقادیر در {} بیشتر باشد، کمپایلر به تعداد مقادیر نوشته نشده 0 میگذارد. اگر در *مثال ۲* هنگام مقداردهی دستور زیر را مینوشتیم:

```
int a[4] = {2, 11}
```

آرایه به صورت زیر مقداردهی می‌شد:

```
a[0] = 2
a[1] = 11
a[2] = 0
a[3] = 0
```

نیاز به ذکر است که اگر از لیست {} برای مقداردهی اولیه استفاده شود، نیازی به تعیین سایز آرایه در اعلان آن نیست. در این حالت کمپایلر به تعداد مقادیر {} برای آرایه سایز تعیین میکند. در *مثال ۲* آرایه را به صورت زیر میتوانستیم مقداردهی کنیم:

```
int a[] = {2, 11 ,500 ,55};
```

مقداردهی اولیه با {} زمانی مناسب است که تعداد مقادیر کم و در حین اعلان نیز مشخص باشند. در صورت زیاد بودن عناصر آرایه، با ساختارهای حلقه معمولاً یک سری مقادیر حساب و با آن‌ها عناصر آرایه مقداردهی می‌شوند.

پاس دادن آرایه به یک تابع

برای این کار چندین روش وجود دارد که یکی از آن‌ها در اینجا بررسی می‌شود. هنگام فراخوانی، باید نام آرایه بدون [] به تابع پاس داده شود و تابع، آرایه را همراه با [] باید در پارامتر خود دریافت کند.

مثال ۳)

```
#include <iostream>
#include <cstddef>
using namespace std;

void printArray(int a[], size_t n) {
   for(size_t i = 0; i < n; ++i) {
      cout << a[i] << ' ';
   }
}

int main() {
   int a[] = {2, 11, 4 ,7};
   printArray(a,4);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
2 11 4 7
```

آرایه‌ی چند بُعدی[1]

برای اعلان آرایه‌ی دو بعدی می‌توان با فرمت زیر عمل کرد:

```
data_type a[row][column];
```

[1]. Multidimensional array

این دستور یک آرایه از آرایه اعلان میکند؛ بـه طـوری کـه row را تعـداد عناصر سـطر و column را تعداد عناصر ستون آرایـه میتـوان فرض کرد. بـرای مثـال عناصر آرایهی دو بعدی زیر:

```
int a[2][4];
```

میتوانند به صورت زیر فرض شوند:

a[0][0]	a[0][1]	a[0][2]	a[0][3]
a[1][0]	a[1][1]	a[1][2]	a[1][3]

مثال ۴)

```
#include <iostream>
#include <cstddef>
using namespace std;

int main() {
   int a[2][3] = {{4,3,3}, {3,2,10}};
   for(size_t r = 0; r < 2; ++r) {
      for(size_t c = 0; c < 3; ++c) {
         cout << a[r][c] << ' ';
      }
      cout << '\n';
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
4    3    3
3    2    10
```

برای اعلان آرایه با بیش از دو بعد، باید به تعداد بعد [] نوشته شود. برای مثال با دستور:

```
int a[4][2][5];
```

آرایه‌ی ۳ بعدی اعلان خواهد شد.

پاس دادن آرایه‌ی چند بعدی به تابع

برای پاس دادن یک آرایه‌ی چند بعدی، مانند آرایهی یـک بعـدی میتـوان عملکرد با این تفاوت که غیر از سایز بعد اول، سایز بقیهی بعدهای آرایه در پارامتر باید نوشته شوند.

مثال ۵)

```
#include <iostream>
#include <cstddef>
using namespace std;

void printArray(int arr[][3], size_t row) {
   for(size_t r = 0; r < row; ++r) {
      for(size_t c = 0; c < 3; ++c){
         cout << arr[r][c] << ' ';
      }
      cout << '\n';
   }
}

int main() {
   int a[2][3] = {{4,3,3}, {3,2,1}};
   printArray(a, 2);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
4    3    3
3    2    1
```

استفاده از for مبتنی بر بازه در آرایه‌ها

در استانداردهای جدید برای ایجاد حلقه در عناصر آرایه علاوه بـــر حلقه‌ی for عادی، از ساختار for مبتنی بر بازه[1] نیز میتوان استفاده کرد. برای مثال:

```
int a[] = {1,2,3,4};
for(int i : a){
```

[1]. Range-based for loop

```
    //…
}
```

در هر حلقهی این ساختار، متغیر i مستقیم با خود مقدار عناصر a مقداردهی میشود.

مثال ۶)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int a[] = {1,2,3,4};
   for (int i : a) {
      cout << i << ' ';
   }
   cout << '\n';
   return 0;
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
1 2 3 4
```

در حلقهی for مبتنی بر بازه، با اعلان متغیر از نوع auto میتوان بدون نیاز به دانستن نوع دادهی یک آرایه، در آن ایجاد حلقه کرد. مثل:

```
for(auto i : a)  {
   //...
}
```

متغیر و انواع داده (۳)

struct

با واژهی struct میتوان یک نوع دادهی جدید، بر اساس انواع دادهی موجود در برنامه ایجاد کرد. تعریف یک struct به صورت زیر است:

```
struct s {
    // members
};
```

s نام struct و members اعضای struct اند.

در C++ یک سری نوعِ داده برای کار با مقادیر شناخته شده مثل int برای اعداد صحیح، float برای اعداد اعشاری و ... به طور پیش فرض وجود دارد؛ ولی در برنامه گاهی اوقات نیاز به ایجاد انواع دادههای پیشرفتهتر مثل نوع دادهای برای ذخیرهی اطلاعات نقطه در فضای دوبعدی میشود. به این منظور میتوان struct زیر را تعریف کرد:

```
struct Point {
   double x;
   double y;
};
```

به دلیل اینکه x و y های یک نقطه اعداد اعشاری نیز میتوانند باشند، یک struct تعریف میکنیم که در قالب متغیرهای double این اطلاعات در آن قابل ذخیره باشد. سپس هر متغیر اعلان شده از آن struct، خود شامل متغیرهای عضو x و y خواهد بود.

اعلان متغیر از یک struct، مانند هر متغیر دیگر به صورت زیر انجام میشود:

```
MyStruct m;
```

بعد از اعلان متغیر از struct، دسترسی به اعضای آن با اپراتور دسترسی عضو[1]. صورت میگیرد. مانند:

```
m.member
```

[1]. Member access operator

مثال ۱)

```
#include <iostream>
using namespace std;

struct Point {
   double x;
   double y;
};

int main(){
    Point p1, p2;
    p1.x = 1.3;
    p1.y = 3.5;
    p2.x = 4.3;
    p2.y = 3.5;
    cout << "p1: (" << p1.x << ", " << p1.y << ")\n";
    cout << "p2: (" << p2.x << ", " << p2.y << ")\n";
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
p1: (1.3, 3.5)
p2: (4.3, 3.5)
```

تعریف متغیر از struct، می‌تواند در انتهای تعریف struct و قبل از **;** نیز قرار گیرد (تعریف چند متغیر را با تفکیک**,** نوشته میشود). مانند:

```
struct Point {
   double x;
   double y;
} p1, p2, p3;
```

برای فرمهای سادهی struct مثل Point در *مثال ۱*، اگر مقادیر مورد نیاز برای مقداردهی متغیر در هنگام اعلان مشخص باشند، مانند آرایه از {} برای مقداردهی اعضای متغیر میتوان استفاده کرد (مقداردهی اولیهیaggregate).

مانند:

```
Point p = {1.1, 2.4};
```

و یا:

```
Point p{1.1, 2.4};
```

با این روش، اعضای متغیر به صورت نظیر به نظیر، از عناصر درون {} مقداردهی میشود.

نیاز به ذکر است که اعضای یک struct لزوما از یک نوع نیستند. بـرای مثـال اگر نیاز به ذخیرهی اطلاعات محصولات یک فروشگاه شود - با فرض اینکه نیاز به ذخیرهی وزن، قیمت و موجود بـودن محصـول در برنامـه هسـت - struct زیـر را میتـوان تعریـف و استفاده کرد:

```
struct  Product {
   double weight;
   int price;
   bool inStock;
};

Product orange{0.2, 3000, true};
Product apple{0.1, 2000, false};
```

همانگونه که مشاهده میشود، متغیرهای عضو این struct از یک نوع نیستند.

زمانی از struct استفاده می‌کنیم که می‌خواهیم یک سری داده‌های مرتبط بـه هم در یک واحد ذخیره شوند. در *مثال ۱* می‌توانستیم هر عضو struct را در یک آرایهی جـدا ذخیره کنیم (یک آرایه برای ذخیرهی xها، یک آرایهای دیگر برای yها). در نتیجه جهت پاس دادن این مقادیر به یک تابع، تعریف تابع باید به صورت زیر نوشته شود:

```
void f(double x[], double y[])
   // …
}
```

ولی با قرار دادن آنها در یک struct، متغیرهای ساخته شده از struct را میتوان در یک آرایه ذخیره کرد. در نتیجه تعریف تابع به صورت زیر میشود:

```
void f(Point b[]){
   // …
}
```

همانطور که دیده میشود دادههای مرتبط به هم با استفاده از struct، به نحـو بهـتری مدیریت و استفاده خواهند شد.

توجه شود که در یک struct می‌توان توابع، توابـعِ virtual و اجـزای پیشرفتهتری نیز اعلان کرد (در فصل کلاسـها بررسـی میشـوند)؛ ولی از struct در C++، بـه طـور معمول فقط برای ذخیرهی مجموعهای از دادهها استفاده میشود.

همچنین به متغیرهای ساخته شده از struct، شی نـیز میگوینـد. البتـه شـی در C++ تعریف کلیتری دارد و به هر قسمتی از حافظه که سایز، طول عمر، مقدار و ... داشته باشد نیز شی گفته میشود.

union

union یک struct است که در هر لحظه فقط یک عضـو آن میتوانـد مقـدار داشـته باشد. حافظه‌ی مورد نیاز برای ذخیرهی شی union، به اندازه‌ی بزرگترین متغـیر عضـو آن است؛ زیرا هماننـد struct نیازی بـه اشـغال حافظـه، بـرای تمام اجـزای union نیست. فرمت تعریف یک union به صورت زیر است:

```
union id {
     // members
} optional_variables;
```

id نام union،

members اعضای union است،

در قسـمت optional_variables، با کاما می‌تـوان متغـیر از union اعلان کرد.

دسترسی به اعضای union نیز توسط اپراتور دسترسی عضو . صورت می‌گیرد.

مثال ۲) برنامه‌ای که شامل union است:

```
#include <iostream>
```

```
using namespace std;

union Data {
   int a;
   int b;
   int c[2];
};

int main() {
   Data d;
   d.a = 3;
   cout << d.a << '\n';
   d.b = 44;
   cout << d.b << '\n';
   d.c[0] = 3;
   d.c[1] = 4;
   cout << d.c[0] << ' ' << d.c[1] << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
3
44
3 4
```

توضیح) توجه شود قبل از استفاده از union باید بدانیم کدام عضو آن هم اکنون مقدار دارد؛ استفاده از اعضای دیگر غیر از این عضو، باعث بروز خطا یا تولید نتایج غلط در برنامه میشود.

هنگام استفاده از {} در مقداردهی union، مانند:

```
U u = {10};
```

اولین عضو union مقداردهی میشود.

ایجاد union بدون اسم نیز امکان پذیر است. این unionها، unionهای ناشناس[1] نام

[1]. Anonymous unions

دارند. دسترسی به اعضای unionهای ناشناس بدون متغیر صورت میگیرد و اعضای آنها مستقیم در ناحیهای که اعلان میشود در دسترس قرار می‌گیرد.

مثال ۳)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   union {
      int a;
      int b;
   };
   a = 4;
   cout << a << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
4
```

در union نیز (نه union ناشناس) - مانند struct - میتوان تابع تعریف کرد. ولی از این قابلیت به ندرت در C++ استفاده میشود.

هدف اصلی استفاده از unionها صرفهجویی در حافظه است. زمانی که در طول عمر چند متغیر، در هر لحظه نیازی به کار و مقداردهی بیش از یکی از آنها نیست، با union میتوانند به صورت بهینه‌تر پیاده شوند.

enum

با واژهی enum میتوان انواع دادههایی را که متشکل از یکسری اسم‌های نامگذاری شده است اعلان کرد. به این انواع دادهها، انواع دادهی شمارشی[1] میگویند. فرمت تعریف یک enum به صورت زیر است:

[1]. Enumerated types

```
enum id {
     value1,
     value2,
     …
} optional_variables;
```

id نوع داده‌ی enum،

value1، value2 و ... مقادیری اند که متغیرهای ایجاد شده از id می‌توانند اختیار کنند (این مقادیر شمارنده[1] نام دارند).

در قسمت optional_variables، با کاما می‌توان متغیر از id اعلان کرد.

مثال ۴)

```
#include <iostream>
using namespace std;

enum Color {
   GREEN, BLACK, WHITE, BLUE, PURPLE, YELLOW
};

int main() {
   Color c;
   c = BLACK;
   if(c == BLACK)
      cout << "c represents black\n";
   else
      cout << "c represents any color except black\
n";
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
c represents black
```

در enumها از ساختار شرطی switch نیز میتوان استفاده کرد. برای مثال:

[1]. Enumerator

```
Color color{GREEN};
switch(color){
   case BLACK:
      cout << "black\n";
      break;
   case GREEN:
      cout << "green\n";
      break;
   // …
}
```

زیرا قسمت شرط switch، علاوه بر مقادیر عدد صحیح میتواند شامل انواع enum نیز باشد.

مقادیر شمارندهها از نظر زیرساختی با مقادیر عدد صحیح در برنامه مشخص میشوند[1]. این مقادیر به طور پیش فرض از 0 شروع میشوند و سپس مقادیر یک واحد بیشتر از شمارندهی قبل از خود را اختیار میکنند. کمپایلرها برای بهینهسازی، معمولاً از کوچکرین نوع عددی ممکن برای تعیین نوع enumها استفاده میکنند. مثلا در *مثال ۴*، کمپایلرها معمولاً نوع char را برای Color در نظر میگیرند. ثابت نبودن نوع مقادیر enumها محدودیتی نیز ایجاد میکند: امکان اعلان قبل از تعریف آنها ممکن نخواهد بود. برای برطرف کردن این محدودیت میتوان نوع enum را به صورت زیر و از نوع ثابت تعریف کرد:

```
enum id: type { }
```

برای مثال:

```
enum Color: int {BLACK, WHITE};
```

همچنین با اپراتور = میتوان مقدار شمارندهها را به اعداد دلخواه تغییر داد. در این

[1] به نوع این مقادیر underlying type گفته میشود.

صورت مقدار هر شمارنده که تعیین نشود، با یک عدد بیشتر از مقدار شمارندهی قبل از خود مقداردهی میشود. برای مثال:

```
enum Book{
   FICTIONAL = 2,
   DOCUMENTARY = 5,
   SCIENTIFIC
};
```

مقدار SCIENTIFIC برابر با 6 خواهد شد.

با تعریف یک enum، شمارندهها در برنامه مستقیما و به صورت implicit میتوانند به انواع دادههای دیگر تبدیل شوند. قابل تبدیل بودن مقادیر شمارندهها در خیلی از مکانها، امکان نوشتن کدهای بی معنی ولی قابل کمپایل را فراهم میکنند. برای مثال دستورات زیر صحیحاند:

```
enum Color{black, white};
Color c = black;
if( c < 1.5) {… // implicit conversion!
```

در استانداردهای جدید یک نوع enum به اسم **کلاس enum**[1] افزوده شده که این مشکل را ندارند. مثل:

```
enum class Color { black, white, green };
```

در کلاس‌های enum، مقادیر شمارندهها به صورت خودکار به مقادیر عدد صحیح تبدیل نمیشوند؛ ولی در صورت نیاز میتوان آنها را به مقادیر مختلف به صورت explicit تبدیل کرد. برای مثال:

```
enum class Color{black, white};
Color c = Color::black;
if( static_cast<double>(c) < 1.5) {… // valid
```

[1]. enum class

تفاوت دیگر یک enum با یک کلاس enum در این است که شمارندههای enum عادی، در کل ناحیهای که enum تعریف شده قرار میگیرند؛ در نتیجه احتمال وجود اسمهای مشابه در برنامه های بزرگ افزایش مییابد. برای مثال:

```
enum color {black, white, green};
int black; // error!
```

دسترسی به شمارندههای یک کلاس enum، با :: صورت میگیرد. در نتیجه باعث قرار دادن مستقیم آنها در خارج از بلوک کلاس enum نخواهد شد.

برای مثال:

```
enum class Color { black, white, green };
Color c = Color::black;
```

تفاوت آخر enum با کلاس enum در نوع دادهی شمارندهها است. در کلاس enum، به طور پیش فرض کمپایلر، نوع دادهی int را برای شمارندهها قرار میدهد؛ در نتیجه بدون نیاز به تعیین نوع داده آن مانند زیر:

```
enum class Color: int{black, white};
```

میتوانند قبل از تعریف، اعلان شوند.

typedef و اعلان alias

با typedef میتوان نوع دادهی جدیدی را بر اساس نوع دادهی موجود در برنامه تعریف کرد. فرمت آن به صورت زیر است:

```
typedef existing_type new_type;
```

existing_type نوع دادهی موجود و new_type نوع دادهی جدیدی است که تعریف میشود.

مثال ۵) برنامهای شامل typedef:

```
#include <iostream>
using namespace std;

typedef unsigned long ulongint;

int main() {
   ulongint i = 23;
   cout << i << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
34
```

توضیح) کمپایلر اسم جدید ulongint را برای نـوع داده unsigned long قرار میدهد.

در استاندارد های جدید با واژه‌ی using، مانند typedef، میتوان اسم جدیدی برای نوع دادهی موجود اعلان کرد. با فرمت:

```
using newType = existingType;
```

به نوع دادهی اعلان شـده، alias گفتـه میشـود (newType در بالا). بـرای مثـال دو دستور زیر با هم برابرند:

```
typedef unsigned long ulongint;
using ulongint = unsinged long;
```

با فرق typedef و اعلان alias، پس از بررسی قالبها آشنا خوهیم شد.

با استفاده از typedef و اعلان alias، می‌توان انواع داده‌هایی که نام طولانی دارند را با نام کوتاهتر جایگزین کرد. البته انواع دادهـای کـه تـاکنون اسـتفاده کردیم همگی نـام کوتاه داشتند. در آینـده با انـواع دادههایی آشـنا خـواهیم شـد کـه بـدون قرار دادن نـام جایگزین استفاده از آنها بسیار مشکل خواهد بود. به عنوان مثال:

```
using vector3d =
```

```
std::vector<std::vector<std::vector<double>>>;
```

به این ترتیب با استفاده از اعلان alias، نوع دادهی طولانی فقط یک بار نوشته و بهجای آن از vector3d در برنامه استفاده خواهد شد.

اپراتورها (۲)

اپراتور sizeof

در C و C++ با اپراتور sizeof می‌توان مقداری که یک شی یا نوع داده در حافظه اشغال میکند را از نوع بایت بدست آورد. یک char نیز همیشه برابر یک بایت است. اپراندِ اپراتور sizeof می‌تواند هم نوع داده و هم متغیر باشد.

مثال ۱) برنامه‌ای که مقدار اشغال شده برای یک متغیر int را در خروجی چاپ می‌کند:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int a;
   cout << sizeof(a) << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
4
```

مقدار فضایی که یک متغیر در سیستم‌های مختلف اشغال می‌کند، همیشه یکسان نیست؛ در نتیجه خروجی *مثال ۱* ممکن است برای سیستم شما ۴ نباشد. یکی کاربردهای اپراتور sizeof نیز دستیابی به مقادیر اشغال شده، مختص سیستمی است که برنامه روی آن اجرا میشود.

دستورات زیر تعداد عناصر یک آرایه را از طریق تقسیم مقدار اشغال شده برای آرایه **بر** مقدار مورد نیاز برای اشغال یک عنصر نمایش میدهد:

```
int a[6];
cout << sizeof(a)/sizeof(int) << '\n'; // size
```

هنگام استفاده از sizeof برای یک مقدار (برخلاف نوع)، میتوان پرانتز آن را قرار نداد. مثل:

```
cout << sizeof a / sizeof(int) << '\n'; // size
```

مقدار بازگشتی اپراتور sizeof از نــوع std::size_t اســت. جهت یادآوری، با این نوع داده میتوان بیشترین سایز ممکن برای اشغال یک شی (یا آرایه) از هر نوع را ذخــیره کرد. با این نوع همچنین میتوان بیشترین مقدار ایندکس ممکن آرایه را نیز ذخیره کرد.
اپراندهای اپراتور sizeof ارزیابی نمیشوند. برای مثال با دستور زیر:

```
sizeof(cout << 4);
```

فقط سایز عبارت برمیگردد و خروجی cout نمایش نمییابد.

اپراتور آدرس[1]

آدرس فضای یک متغیر در حافظه با قرار دادن اپراتور آدرس (&) قبل از اسم آن بدســت میآید.

مثال ۲)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
    int a;
    cout << "address of a : " << &a << '\n';
}
```

دستورات را کمپایل و اجرا کنید تا خروجی مشابه زیر تولید شود:

```
address of a : 0x7ffd67ff742c
```

کار با حافظه (۱)[2]

اشارهگر[3]

اشارهگر یک نوع متغیر است که به جای ذخیره کردن مقداری از انواع دادهای که تاکنون

[1]. Address-of operator
[2]. Memory managment
[3]. Pointer

بررسی کردیم (int، char و ...)، آدرسی از حافظه را در خود ذخیره میکند. به این ذخیره سازی اصطلاحاً اشاره کردن گفته می‌شود. اشارهگر هم میتواند به یک متغیر و یا به طور کلی به یک شی اشاره کند. در این بخش اشاره به متغیر را بررسی خواهیم کرد.

تعریف اشارهگر

فرمت اعلان یک اشارهگر به صورت زیر است:

```
data_type *p;
```

که data_type نوع داده‌ی شی و p نیز نام اشارهگر است.

مانند:

```
int *a;
```

اشاره به یک متغیر

برای این کار باید نام اشارهگر را بدون ستاره نوشت و آن را با آدرس متغیری که می‌خواهیم به آن اشاره شود (با استفاده از اپراتور آدرس &) مقداردهی کرد.

مانند:

```
int b;
int *a;
a = &b;
```

a به b اشاره خواهد کرد.

پس از اشاره‌ی یک اشارهگر، a بیانگر آدرسی از حافظه و *a به مقدار متغیر مورد اشاره تلقی می‌شود. دسترسی اشارهگر به مقدار متغیر با *، ***دیرفرنس***[1] نام دارد.

مثال ۱) برنامه‌ای که شامل یک اشارهگر است.

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
```

[1]. Dereference

```
   int b = 3;
   int *a;
   a = &b;
   cout << "derefrencing a: " << *a << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Derefrencing a : 3
```

با دیرفرنس، مستقیماً به مقدار ذخیره شده در متغیرِ مورد اشاره دسترسی ایجاد میشـــود؛ با تغییر دادن این مقدار با اشارهگر، مقدار متغیر نیز عوض می‌شود.

مثال ۲)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int b = 3;
   int *a = &b;
   *a = 10;
   cout << "b is now " << b << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
b is now 10
```

توجه شود که در دستور:

```
int *a = &b;
```

مقدار *a برابر با &b نیست (a برابر با &b است) ولی استفاده از اپراتــور *، در اعلان a نیاز است و به کمپایلر اطلاع می‌دهد که a از نوع اشارهگر است.

تاکنون با پاس دادن یک عبارت به تابع، از کپی آرگومان جهت مقداردهی پارامتر استفاده میشد. در نتیجه با تغییر مقدار پارامتر در تابع، مقدار اصلی آرگومان تغییر نمی‌یافت.

مثال ۳)

```
#include <iostream>
using namespace std;

void f(int a) {
   a = 5000;
}

int main(){
   int x = 4;
   f(x);
   cout << "x is now : " << x << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
x is now : 4
```

با پاس دادن آدرس و دریافت آن توسط یک اشارهگر، تابع مستقیماً با مقدار آرگومان کار خواهد کرد، در نتیجه با تغییر مقدار آن از طریق دیرفرنس اشارهگر، مقدار آرگومان نیز عوض می‌شود.

مثال ۴)

```
#include <iostream>
using namespace std;

void f(int *a) {
   *a = 5000;
}

int main() {
   int x = 4;
   f(&x);
   cout << "x is now : " << x << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
x is now : 5000
```

توضیح) همانند *مثال ۳* است با این تفاوت که پارامتر تابع از نوع اشارهگر است و آدرس x در فراخوانی پاس داده میشود.

یکی کاربردهای تعیین پارامتر از نوع اشارهگر، جلوگیری از کپی اشیای بزرگ است که نیاز به صرف منابع زیاد دارند.

اشاره به nullptr

اگر در برنامه یک اشارهگر به nullptr اشارهکند، به این معنی است که اشارهگر به هیچ شیای اشاره نمیکند. برای مثال:

```
int *p;
p = nullptr;
```

همچنین از نظر true و false بودن، اگر اشارهگر به nullptr اشاره کند false و در غیر این صورت true برمیگردد. به این ترتیب با ساختار شرطی میتوان اشاره یا عدم اشارهی اشارهگر به یک شی را بررسی کرد.

مثال ۵)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int a = 3;
   int *b = &a;
   b = nullptr;
   if(!b)
       cout << "b is pointing to nullptr\n";
   else
       cout << "b is not pointing to nullptr\n";
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
b is pointing to nullptr
```

nullptr در استانداردهای پیشین NULL نام داشت و برابر 0 عددی بود. به دلیل عددی بودن مقدار NULL، اگر دو تابع سربارگذاری شده داشته باشیم به طوری که پارامتر یکی از آنها اشارهگر و دیگری از نوع عدد صحیح (مثلا int) باشد، با پاس دادن NULL، تابع با پارامتر عدد صحیح فراخوانی میشود:

```
void f (int *a);
void f (int a);
f(NULL); // f(int)
```

این مشکل با nullptr برطرف شده است. nullptr از نوع std::nullptr_t است و فقط میتواند به اشارهگر و یا مقدار bool تبدیل شود. برای مثال:

```
int a = NULL; // old code. works.
int a = nulltpr; // error!
int *a = nullptr; // ok.
bool a = nullptr; // ok.
```

تخصیص حافظهی دینامیک[1]

طول عمر یک متغیر معمولی محدود به ناحیه (scope)ای است که در آن اعلان میشود. در بعضی از مواقع نیاز به ایجاد اشیایی است که وابسته به ناحیه (scope) اعلانشان نیستند؛ برای مثال در بعضی از توابع، مناسب است که فضای متغیرهایی که در آنها اعلان میشوند، با اتمام اجرای آنها از بین نروند. تخصیص این نوع اشیا، از نوع تخصیص حافظهی دینامیک باید صورت گیرد. به مکانی از حافظه که این اشیا در آن تخصیص مییابند heap یا free store (در مقابل stack) گفته میشود. این اشیا همچنین برخلاف اشیایی که تاکنون ایجاد کردیم، در حین اجرای برنامه تخصیص مییابند و مقدار آنها نیز در حین اجرا مشخص میشود.

در تخصیص دینامیک، فضای اشیای ایجاد شده توسط اشارهگر نگهداری و استفاده میشود. در این نوع کاربرد اشارهگرها در واقع اشارهگر به جای اشاره به یک متغیر، به

[1]. Dynamic memory allocation

طور کلیتر به یک شی در حافظه اشاره می‌کند.

اپراتور new و new[ ]

برای تخصیص دینامیک یک شی، از اپراتور new استفاده میشود. برای مثال دستور زیر:

```
new int;
```

یک شی از نوع int ایجاد میکند. این اپراتور پس از ایجاد شی، یک اشارهگر بـه ابتـدای فضای شی ایجاد شده برمیگرداند. برای استفاده از این شی باید آدرس برگشته را در یـک اشارهگر ذخیره کرد. مثل:

```
int *p = new int;
```

مثال ۶) برنامه‌ای که در آن یک متغیر به صورت دینامیک تخصیص مییابد (توجـه شـود این مثال نیاز به تکمیل دارد. در پایان مثال به تکمیل آن میپردازیم):

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int *a = new int;
   *a = 5;
   cout << "a = " << *a << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
a = 5
```

اشیای تخصیص یافته با new، به طـور خودکـار آزاد نمیشـوند. این کـار بایـد با اپراتـور delete و توسط برنامه نویس صورت گیرد. برای مثال:

```
int *i = new int;
delete i;
```

مثال کامل شدهی *مثال ۶* به صورت زیر نوشته میشود:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int *a = new int;
   *a = 5;
   cout << "a = " << *a << '\n';
   delete a;
}
```

برای مقداردهی اولیه یک شی که به صورت دینامیک تخصیص یافته است، از () یا {} میتوان استفاده کرد:

```
int *p = new int{6};
int *p2 = new int(6);
```

در غیر این صورت به صورت پیش فرض مقداردهی میشود.

تخصیص دینامیک یک **آرایه،** با اپراتور new [] صورت میگیرد. مانند:

```
new int[size];
```

و آزاد کردن آن با delete []:

```
delete [] a;
```

انجام میشود. برای مثال:

```
int *a = new int[10];
delete [] a;
```

مقداردهی اولیهی یک آرایهی دینامیک میتواند توسط {} و یا با () خالی انجام شود. در صورت استفاده از ()، تمام عنصرها با ۰ مقداردهی میشوند و با {} آرایه مقداردهی اولیهی aggregate خواهد شد.

برای مثال:

```
int *a = new int[size](); // 0
int *a = new int[4]{1,2,3,4}; // {1,2,3,4}
```

مثال ۷) برنامه‌ای که شامل یک آرایه است که سایز آن با تخصیص دینامیک آرایه، در

حین اجرای برنامه و توسط کاربر مشخص میشود:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   size_t n;
   int *a;
   cout << "Specify array length: ";
   cin >> n;
   a = new int[n];

   for(size_t i = 0; i < n; ++i)
        a[i] = i;

   for(size_t i = 0; i < n; ++i)
      cout << "[" << i << "] = " << a[i] << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Specify array length: 6
[0] = 0
[1] = 1
[2] = 2
[3] = 3
[4] = 4
[5] = 5
```

نشت حافظه (memory leak)

نشت حافظه یا memory leak در برنامه زمانی رخ میدهد که فضای تخصیص یافتهای که دیگر نیازی به آن نیست آزاد نشود. برای مثال در دستورات زیر:

```
void f(){
   int *p = new int;
}
int main(){
```

```
   f(); // memory leak
}
```

اشارهگر p، بدون deleteکردن فضای خود - با پایان اجرای تابع f() - از بین میـــرود؛ در چنین حالتی شی آزاد نشده علاوه بر از بین نرفتنش، غیر قابل دســترس نــیز میشــود. نشت حافظه معمولا در کدنویسی غلط توابع ایجاد میشود. برای مثـال اگر برنامــه قبـل از آزاد کردن منابع دینامیکی که در یک تابع تخصیص یافتهاند، به دستور return برســد و یا استثنا ایجاد شود (بررسی در فصل استثناها)، منجر به نشت حافظه خواهد شد. نشت حافظه در برنامه هایی که به طور مداوم در اجرا باقی میمانند (مثل برنامه های سرور)، به مرور زمان حافظه را پر میکند و درنهایت منجر به توقف برنامه میشود.

مثال:

```
int status(){
   int *p = new int;
   if(condition)
      return 4;
   delete p; // may not be called.
}
```

در هنگام تخصیص حافظهی دینامیک یکی از مشـکلات دیگری کـه در رابطـه با حافظـه ایجاد میشود، اشارهگر معلق (dangling pointer) اسـت (البتـه اشـارهگر معلـق محدود به حافظهی دینامیک نیست). اشارهگر معلق، اشارهگری است که به شیای اشــاره میکند که صحیح نیست یا از بین رفته. برای مثال:

```
int  *i = new int;
int *i2 = i;
delete i;
i = nullptr;
```

در این صورت i2 یک اشارهگر معلـق میشـود. یـک نمونـه از اشـارهگر معلـق خـارج از تخصیص دینامیک، به صورت زیر است:

```
{
```

```
   int *i = nullptr;
   {
       int c;
       dp = &c;
   }
}
```

اپراتور انتخاب عضو ->[1]

زمانی که یک متغیر (مثلاً متغیر struct) از نوع اشارهگر داریم، برای دسترسی به اعضای آن به جای نوشتن دستور:

```
(*v).x
```

می‌توان از اپراتور -> استفاده کرد. مانند:

```
v->x
```

مثال ۸)

```
#include <iostream>
using namespace std;
struct MyStruct{
   int a;
};

int main() {
   MyStruct m;
   m.a = 10;
   MyStruct *m2 = &m;
   cout << m2->a << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
10
```

[1]. Arrow member selection operator

اشاره به اشارهگر[1]

یک اشارهگر می‌تواند به اشارهگر دیگر اشاره کند. در این صورت برای دیرفرنس کردن، باید به تعداد سطح اشاره، * قرار گیرد.

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
    int a = 10;
    int *p = &a, **t;
    t = &p;
    cout << **t << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
10
```

آرایه‌ی دو بعدی نیز به اشاره‌گر به اشارهگر می‌تواند تبدیل شود؛ همینطور آرایهی n بعدی نیز به همین ترتیب به اشارهگر با n سطح اشاره تبدیل میشود.

اشارهگر const و اشاره به const[2]

واژهی const در اشارهگرها دو کاربرد دارد. یک کاربرد آن اشارهگر const اعلان میکند و دیگری اشارهگری اعلان میکند که به یک شی const اشاره میکند.

اشارهگر const: اشارهگرها نیز مانند بقیه‌ی متغیرها می‌توانند به صورت const تعریف شوند. اشارهگر const یک نوع اشارهگر است که آدرسی که به آن اشارهگر اشاره می‌کند ثابت است و نمیتوان تغییر کند. در اعلان چنین اشارهگری باید پس از *، واژه‌ی const قرار گیرد. فرمت اعلان آن به صورت زیر است:

```
dataType * const variableName;
```

توجه شود که مقدار اشارهگر const مانند بقیه‌ی constها باید با اعلان مقداردهی

[1]. Pointer to pointer
[2]. constant pointer and pointer to const

شود. مانند:

```
int a = 4;
int c = 3;
int * const b = &a;
b = &c; // error
```

با وجود اینکه آدرس شیای که اشارهگر const اشاره میکند ثابت است، خود مقدار شی مورد اشاره میتواند تغییر کند. مانند:

```
int a = 4;
int * const b = &a;
*b = 3; // OK
```

اشارهگر به const: اشارهگر به const، اشارهگری است که مقدار شیای که به آن اشاره می‌کند را نمیتواند تغییر دهد؛ ولی آدرس شی مورد اشارهاش را در هر زمان میتوان تغییر داد.

فرمت اعلان آن به صورت زیر است:

```
dataType const * p;
```

یا:

```
const dataType * p;
```

مثال:

```
int a = 5;
int const *b;
b = &a;
*b = 2; // error
```

همچنین اشارهگر میتواند از نوع اشارهگر const به const باشد؛ در این صورت دو ویژگی const در اشارهگر را خواهد داشت. برای مثال:

```
int i = 5;
const int *const p{&i}; // const pointer to const
```

کاربرد اصلی constها در اشارهگر معمولا در توابع است. برای مثال در تابعی که نیاز به

تغییر مقدار آن نیست و همچنین دریافت آن‌ها بـه صـورت عادی از طریـق کپی مناسب نباشد (مثلاً حجم شی زیاد باشد)، پارامتر آن را میتوان از نوع اشارهگر به const اعلان کرد؛ این تابع دیگر نمیتواند آرگومانهای دریافت کرده را تغییر دهد. این ویژگی بخصوص در برنامه های بزرگ اهمیت دارد؛ زیرا بررسی تعریـف تمامی توابـع در برنامـه امکانپـذیر نیست. ولی اطمینان حاصل میشود که تابعی که پارامتر آن از نـوع اشـارهگر بـه const باشد، شی ما را تغییر نخواهد داد.

void*

void* نوع خاصی از اشارهگر است که میتواند به اشیای هر نـوع دادهـای اشـاره کنـد. یکسان یا یکسان نبودن دو اشارهگر از نوع void* را ماننـد اشـارهگرهای دیگر میتـوان بررسی کرد؛ ولی فرآیندهای دیگر اشارهگرها مثل دیرفرنس، افزودن یـک مقـدار بـه آنها و ... ممکن نیست و خطای کمپایلر را به همراه خواهد داشت (زیرا نوع شـی مـورد اشـاره آنها مشخص نیست). با این وجود امکـان کَسـت اشـارهگرهای void* بـه نوعهای دیگر اشارهگر وجود دارد. برای مثال:

```
int i = 3;
float f = 1.6;

void *p = &i, *p2 = &f;
cout << *static_cast<int*>(p) << '\n';   // cast to int
cout  <<  *static_cast<float*>(p2)  <<  '\n';//cast  to
float
```

استفادهی معمول اشارهگر void* در توابع سطحپایین سیسـتم اسـت کـه امکـان پاس دادن هر نوع شیای را فراهم میکند. void* در برنامه های سـطح بالا بـه طـور معمـول استفاده نمیشود.

رفرنس[1]

[1]. Reference

رفرنس یک نام جدید برای متغیر از پیش تعریف شده ایجاد می‌کند. در C++ دو نوع رفرنس موجود است: **رفرنس rvalue** و **رفرنس lvalue**.

ابتدا به رفرنس lvalue میپردازیم؛ همچنین در این کتاب منظور از رفرنس، رفرنس lvalue است (مگر اینکه به طور خاص رفرنس rvalue نوشته شود). برای تعریف رفرنس lvalue باید اپراتور & قبل از نام رفرنس قرار گیرد.

مثال ۹) برنامه‌ای که شامل یک رفرنس است:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {
   int a = 4;
   int &b = a;
   cout << b << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
4
```

رفرنس lvalue میتواند به یک lvalue ارجاع داده شود. در عمل، lvalue مقداریست که آدرس آن در برنامه قابل دریافت است (مثل یک متغیر). رفرنس مانند اشارهگر، چون مقدار یک متغیر را کپی نمیکند - و به فضای آن ارجاع داده میشود - با تغییر مقدار رفرنس، فضای متغیر مورد ارجاع نیز تغییر میکند. مثلاً:

```
int a = 2;
int &b = a;
b = 13; // a is now 13
```

مهمترین تفاوتهای رفرنس با اشارهگر در موارد زیر است:

۱. در طول عمرش می‌تواند فقط به یک متغیر ارجاع داده شود؛ این ارجاع نیز با مقداردهی اولیهی آن تعیین میشود:

```
int a = 3;
int &b; // error
b = a;
```

۲. معادل nullptr برای رفرنس موجود نیست. یکی از نتیجههای این ویژگی در تعیین نوع پارامتر توابع است؛ برای مثال در توابعی که پارامتر آنها از نوع اشارهگر است و پاس دادن nullptr به آنها بیمعنی است، به جای دریافت اشارهگر و بررسی عدم nullptr بودن آرگومان، مثل:

```
int f(int *p) {
   if(p == nullptr) {
      // stop function execution, etc
   }
}
```

با تعیین پارامتر از نوع رفرنس، امکان پاس دادن nullptr و نیاز به چک آن از بین خواهد رفت. استفاده از اشارهگر در پارامتر و بررسی nullptr نبودن (در صورت نیاز) زمانی استفاده میشود که به طور خاص نیاز به اشارهگر باشد؛ در غیر این صورت پارامتر را از نوع رفرنس تعیین میکنند.

۳. برخلاف اشارهگر، نمیتوان آرایهای از رفرنس اعلان کرد.

۴. برخلاف اشارهگر، امکان اعلان رفرنس به رفرنس ممکن نیست.

۵. رفرنس برخلاف اشارهگر، آدرس یکسانی با متغیر مورد ارجاعش دارد.

رفرنس معمولاً در دو جا استفاده میشود: در پارامتر **و** در بازگشت توابع.

مثال ۱۰) برنامهای که کاربرد رفرنس را در پارامتر تابع نشان میدهد:

```
#include <iostream>
using namespace std;
void f(int &a) {
    a = 6;
}
int main() {
    int a = 4;
    f(a);
    cout << a << '\n';
}
```

یکی از دلایل دیگر استفاده از رفرنس به جای اشارهگر، syntax راحت تر کار با رفرنس

است؛ در رفرنس، برای دستیابی به مقدار ارجاع داده شده، از اپراتور * اســتفاده نمیشــود. راحتی کار با رفرنس در واقع زمانی محسوس است که رفرنس به یک متغیر با عضو ارجاع داده می‌شود. در این صورت برای دسترسی به اعضا آن، به جای استفاده از اپراتور *انتخابِ* عضو **->**، از نام رفرنس و . استفاده میشود. برای مثال:

```
void f(MyStruct &a){
     a.m = …;
}
```

هنگام استفاده از رفرنس در نوع بازگشت توابع، توجه کنید رفرنس نباید به یک شیای که با خروج از تابع از بین میرود، ارجاع داده شود. تابع زیر صحیح نیست:

```
int& returnRef(){
    int x = 10;
    return x; // error
}
```

مثال ۱۱) نمونهای از استفادهی صحیح رفرنس در بازگشت توابع:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int& getElement(int *a, size_t n) {
   return a[n];
}

int main () {
   int a[] = {1, 2, 3};
   getElement(a, 1) = 4;
   getElement(a, 2) = 5;
   for(size_t i = 0; i < 3; ++i ){
       cout << i << " : ";
       cout << a[i] << '\n';
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
0 : 1
1 : 4
2 : 5
```

رفرنس مانند اشارهگر میتواند از نوع const اعلان شود. رفرنس const مقدار مورد ارجاع خود را نمیتواند تغییر دهد. برای مثال:

```
int i = 10;
int const& r = i;
```

رفرنس const (به طور دقیقتر، رفرنس lvalue از نوع const) علاوه بر lvalue به rvalue نیز میتواند ارجاع شود. rvalue مقداریست که lvalue نباشد (لیترالها، اشیای موقت و ...). rvalue بیانگر عبارتی است که توسط یک شی قابل شناسایی بیان نشده باشد. برای مثال:

```
int const& r = 5;
```

این نوع رفرنسها، از آنجایی که از نوع constاند، مقدار مورد ارجاع خود را نمیتوانند تغییر دهند. برای ارجاع به یک rvalue، علاوه بر رفرنس **lvalue از نوع const**، از **رفرنس rvalue** نیز میتوان استفاده کرد. رفرنس rvalue با && مشخص میشود (این اپراتور به معنی رفرنس به رفرنس نیست. رفرنس به رفرنس در C++ - برخلاف اشارهگر – وجود ندارد). برای مثال:

```
int &&r = 5;
```

تفاوت **رفرنس rvalue** با **رفرنس lvalue از نوع const** در این است که رفرنس rvalue میتواند مقدار شی مورد ارجاع خود را تغییر دهد:

```
int const& r = 5;
int &&r2 = 5;
r2 = 7; // ok
r = 7; // error
```

تفاوت دیگر این رفرنسها، هنگام قرارگیری آنها در پارامتر دو تابع سربارگذاری شده است. در این صورت که با پاس دادن rvalue، برنامه تابع با رفرنس rvalue را اجرا میکند.

مثال ۱۲)

```
#include <iostream>
using namespace std;

void f(const int &r) {
   cout << "f(const int&)" << '\n';
}

void f(int &&r) {
   cout << "f(int &&r)" << '\n';
}

int main() {
   int x = 4;
   f(x);
   f(7);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
f(const int&)
f(int &&r)
```

توضیح) در این مثال بین یک متغیر و مقادیر موقتِ قابل تغییر (rvalue) تفاوت قائل میشود.

رابطه‌ی آرایه با اشارهگر

از نظر زیرساختی، آرایه یک نوع اشارهگر نیست؛ ولی یک آرایه را بدون کَست کردن میتوان به اشارهگر تبدیل کرد. برای مثال:

```
int a[] = {1,2,3,4};
int *p = a;
```

اشارهگر p به اولین عنصر آرایه اشارهخواهد کرد؛ و سپس با استفاده از اپراتور [] نیز به عنصر مورد نظر دسترسی ایجاد میشود. این اپراتور به طور کلی مانند افزودن عدد صحیح

n به اشارهگر و دیرفرنس کردنش به صورت *(p+n) عمل میکند. بـرای مثـال، ۴ عبارت زیر برابرند:

```
p[2]
a[2]
*(p + 2)
*(a + 2)
```

تفاوت اشارهگر p با آرایهی a در این است که اشارهگر، اطلاعات مربوط به آرایــه (نــوع و سایز) a را از دست میدهد. برای مثال اپراتور sizeof دو عبارت یکسان نخواهد بود:

```
int a[] = {1,2,3,4};
int *p = a;
sizeof(p) == sizeof(a); // false
// sizeof(a) == 4 * sizeof(int)
// sizeof(p) == sizeof(int *)
```

و از نظر نوع، اشارهگر p دیگر نوع int [4] را نخواهد داشت؛ به همین دلیــل هنگــام پاس دادن آرایه به تابع، باید سایز آرایه نیز برای تــابع مشــخص شــود (مثلاً با پاس دادن مستقیم به آن).

مثال ۱۳)

```
#include <iostream>
using namespace std;

void printArray(int *a, size_t N) {
   for(int i = 0; i < N; ++i)
      cout << "[" << i << "] = " << a[i] << '\n';
}

int main() {
   int a[5] = {2,3,7,5,3};
   printArray(a, 5);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
[0] = 2
[1] = 3
[2] = 7
[3] = 5
[4] = 3
```

در C++ (نه C) میتوان یک آرایه را با رفرنس ذخیره کرد. در این صورت سایز و نوع آرایــه از بین نمیرود. برای مثال:

```
int a[5] = {2,3,7,5,3};
int (&b)[5] = a;
sizeof(a) == sizeof(b); // true
```

در نتیجه تابع مثال ۱۳ میتواند به صورت زیر تعریف شود:

```
void printArray(int (&a)[5]) {
   for(size_t i = 0; i < 5; ++i)
      cout << "[" << i << "] = " << a[i] << '\n';
}
printArray(a);
```

در این تابع یک آرایه فقط با سایز ۵ دریافت میشود؛ به این ترتیب از پاس دادن سایزهای غلط و بروز نتایج غلط جلوگیری میشود.

رشته

در برنامه نویسی یک رشته شامل مجموعه‌ای از کاراکترها است. برای مثال name یک رشته است و از کاراکترهای m، a، n و e تشکیل شده است. در زبان C برای ذخیره و کار با رشته‌ها از آرایه‌ای از کاراکترها استفاده میشود. در زبان C++ یک کلاس به نام std:: string وجود دارد که کار با رشته (ذخیره و اعمال تغییر روی رشته) را آسانتر کرده است. به دلیل کاربرد زیاد رشته در C ابتدا با آن آشنا میشویم.

رشته در C

همانطور که گفته شد در زبان C برای ذخیرهسازی و کار با رشته، باید از آرایه‌ای از کاراکترها استفاده کرد.

مثال ۱)

```
#include <iostream>
#include <cstdio>
using namespace std;

int main() {
   char myString[20];
   myString[0] = 'N';
   myString[1] = 'a';
   myString[2] = 'm';
   myString[3] = 'e';
   myString[4] = '\0';
   cout << myString << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Name
```

در مثال بالا یک آرایه‌ای از کاراکتر به اسم myString اعلان که به ترتیب عنصر صفر تا سوم آن با کاراکترهای کلمه‌ی Name و عنصر آخر نیز با کاراکتر \0 مقداردهی

میشود. این کاراکتر خاص، کاراکتر null نـام دارد و پایان رشـته را در برنامـه مشـخص میکند. با مشخص شدن انتهای رشته با این کاراکتر، از بروز مشکلات حافظـه جلوگـیری خواهد شد. به دلیـل نیاز بـه افزودن کـاراکتر null، تعـداد عناصر آرایـه یکی از تعـداد کاراکترهای رشته باید بیشتر باشد.

مقداردهی اولیهی آرایهی کاراکتر (مانند هر آرایهای دیگر) میتوانـد با لیسـت {} صـورت گیرد. برای *مثال ۱* میتوان به صورت زیر عمل کرد:

```
char myString[20] = {'N', 'a', 'm', 'e', '\0'};
```

همچنین به جای قرار دادن جداگانهی کاراکترها با ,، کل رشـته را بـدون کـاراکتر null در "" می‌توان قرار داد. مانند:

```
char myString[20] = "Name";
```

عبارت "Name" یک لیترال رشته است و نوع آن در C++ از نـوع آرایهـای از **کاراکترهای const** با تعداد عناصر مورد نیاز برای ذخیرهی کارکترهای آن (در دستور بالا ۵) است. بنابراین به صورت زیر (بدون تعیین عناصر) میتوان آرایه را مقداردهی اولیه کرد:

```
char myString[] = "Name";
myString[0] = 'F'; // ok
```

در C و استانداردهای قدیمیتر C++، دستور زیر نیز صحیح:

```
char *myString = "Name";
```

در این حالت به جای کپی شدن رشته در یک آرایه، یک اشارهگر بـه اول فضـای لیـترال اعلان خواهد شد. این دستور در استانداردهای جدید C++ غلـط اسـت[1]؛ زیـرا در C، نـوع لیترالهای رشته از نوع char[] قرار دارند و میتوانند مستقیم به char* تبـدیل شـوند. در C++ لیترالها از نوع constاند. در نتیجه با تغییر مقدار چنین متغیری، برنامـه سـعی به تغییر یک const میکند:

```
char *myString = "Name";
```

[1] جهت کمپایل شدن کدهای قدیمی، این دستور کمپایل میشود ولی هشدار کمپایلر را به همراه خواهد داشت.

```
myString[0] = 'F'; // error. assignment to const
```

در هِدِر <cstring> یک سری توابع برای کارکردن با رشته‌ها وجود دارد که با افزودن این هِدِر در برنامه در دسترس قرار می‌گیرد.

تعدادی از توابع مهم <cstring> با کاربردشان در جدول زیر قرار دارند:

strcpy(s1, s2)	s2 را در s1 کپی می‌کند.
strcat(s1, s2)	s2 را به انتهای s1 می‌چسباند.
strlen(s1)	طول رشته‌ی s1 را بر می‌گرداند.
strcmp(s1, s2)	تابعی است که در صورت برابر بودن s1 و s2 عدد 0 و در صورتی که اولین کاراکتر غیر یکسان در s1 مقدار کمتری داشته باشد، عددی کمتر از 0 و در غیر این صورت عددی بیشتر از ۰ را برمیگرداند.

مثال ۲) برنامه‌ی زیر کاربرد تابع strcat را نشان می‌دهد:

```
#include <iostream>
#include <cstring>
using namespace std;

int main() {
   char s1[] = "Computer";
   char s2[] = "Science";
   strcat(s1, s2);
   cout << "s1 is now: " << s1;
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
s1 is now: ComputerScience
```

در برنامه طول عمر لیترالهای رشته از نوع static است و تا پایان برنامــه باقی میمانــد. به همین دلیل میتوانند بدون مشکل از توابع بازگردند:

```
const char *return_str(){
     return "a string";
}
```

کلاس std::string

در C++ یک نوع داده مختص کار با رشته به نام std::string وجود دارد. برای استفاده از نوع std::string ابتدا باید هِدِر <string> به برنامه افزوده شود. اعلان متغیر از std::string نیز مانند بقیهی متغیرها صورت میگیرد:

```
#include <string>
std::string stringName;
```

مقداردهی اولیهی شی string میتواند به روشهای زیر صورت بگیرد:

```
std::string s{"a string"};
std::string s = {"a string"};
std::string s("a string");
std::string s = "a string";
```

بعد از مقداردهی اولیهی متغیر string، با = میتوان آن را با رشتههای دیگر مقداردهی کرد.

مثال ۳)

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

void printString(const string& s) {
   cout << "Passed string: " << s << '\n';
}

int main() {
   string s = "a string";
   printString(s);
}
```

تبدیل عدد به رشته و برعکس

تبدیل عدد به رشته با تابع to_string() صورت می‌گیرد:

```
string a = to_string(59);
```

که 59 به رشته تبدیل می‌شود.

برای تبدیل رشته به عدد، تابع stoi وجود دارد:

```
int a = stoi("44");
```

به طور مختص برای تبدیل رشته به float، double و ...، توابع stod(*str*)، stof(*str*) و ... وجود دارند.

تابع عضو at() و size()

تابع at() با پاس دادن عدد n، کاراکتر nاُم از متغیر string را برمی‌گرداند. علاوه بر at() از اپراتور [] نیز مانند آرایه برای دسترسی به کاراکترهای متغیر string میتوان استفاده کرد؛ با این تفاوت که []، برخلاف at()، موجود بودن عنصر را بررسی نمیکند. تابع size() نیز تعداد کل کاراکترهای رشته را (از نوع size_t) بر می‌گرداند.

مثال ۴)

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

int main() {
   string s = "A sentence";
   for(size_t i = 0; i < s.size(); ++i) {
      cout << s.at(i) << ' ';
   }
   cout << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
A   s e n t e n c e
```

گرفتن کل خط با getline()

اگر از cin برای گرفتن رشته از کنسول استفاده شود، برنامه، رشته را تا قبل از اولین فضا خالی space و tab دریافت می‌کند. برای دریافت کل خط باید از getline() استفاده شود.

مثال ۵)

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

int main() {
   string s;
   cout << "Enter a sentence: ";
   getline(cin, s);
   cout << "You have entered : " << s << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Enter a sentence: a sentence
You have entered : a sentence
```

متغیر string شامل توابع عضو دیگری مثل find، replace() و ... نیز هست.

در صورت نیاز به رفرنس C++ مراجعه کنید.

کلاس (۱) (کلاس‌ها و اشیا[1])

یـک کلاس شـامل مجموعهـای از متغیرها و توابـع اسـت. با تعریـف یـک کلاس ماننـد struct میتوان یک نوع داده جدید در برنامه ایجاد کرد.

برای تعریف یک کلاس در C++ از فرمت زیر استفاده می‌شود:

```
class id {
     // body
} optional_obj;
```

id نام کلاس و optional_obj، اختیاراً محل اعلان متغیر از کلاس (تفکیک شده با کاما) است. تعریف متغیر جداگانه از کلاس id به شکل زیر صورت میگیرد:

```
id m;
```

پس از اعلان متغیر m، دسترسی به اعضای آن به صورت زیر انجام میشود:

```
m.member
```

نقطه (.) اپراتور انتخاب عضو[2] نام دارد.

توابع و متغیرهای عضو یک کلاس می‌توانند یکی از سه نوع سطح دسترسی زیر را داشته باشند:

Private	دسترسی به این اعضا فقط توسط اعضای دیگر کلاس میتواند صورت گیرد.
Protected	این اعضا علاوه بر درون کلاس، در کلاس‌های مشتق[3] شده از آن کلاس نیز قابل دسترساند.
Public	این اعضا علاوه بر درون کلاس و کلاس مشتق، در کل برنامه (تا جایی که شی آن کلاس تعریف شده باشد) قابل دسترس است.

[1]. Classes and objects

[2]. Member access operator

[3] مربوط به وراثت است.

protected، pirvate و public تعیین کننده‌ی سطح دسترس[4] نام دارند.

مثال ۱) برنامهای که تعریف و استفاده از یک کلاس ساده را نشان میدهد.

```
#include <iostream>
using namespace std;

class MyClass {
public:
   void f() {
      cout << "f() called.\n";
   }
};

int main(){
   MyClass m;
   m.f();
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
f() called.
```

توضیح) در این مثال، تعریف یک کلاس ساده بـه اسـم MyClass نشـان داده شـده. در تابع main، از کلاس MyClass یک متغیر به اسم m اعلان میشود و به دلیل اینکه تابع f() از کلاس MyClass با سـطح دسـترس public تعریـف شـده، در تـابع main() توسط متغیر m قابل فراخوانی میباشد.

مثال ۲)

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

class Person {
private:
   string name;
```

[4]. Access specifiers

```
public:
   void set_name(string s) {
       name = s;
   }
   void print_name() {
       cout << "Name: " << name << '\n';
   }
};

int main() {
   Person p, p2;
   p.set_name("Dennis");
   p2.set_name("Ken");
   p.print_name();
   p2.print_name();
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Name: Dennis
Name: Ken
```

توضیح) در این برنامه یک کلاس به نام Person برای ذخیرهی اسامی افراد در برنامه تعریف کردیم. این کلاس شامل یک متغیر name از نوع string به صورت private و دو تابع public برای مقداردهی متغیر name و نمایش آن در خروجی است. در تابع main نیز دو متغیر از Person اعلان میشود و متغیر name آنها نیز جداگانه مقداردهی و نمایش مییابند.

از یک کلاس جهت ایجاد یک نوع دادهی جدید در برنامه استفاده میشود. برای مثال اگر در برنامه اگر نیاز به ذخیره و کارکردن با ماتریسها شود، میتوان یک کلاس برای کار با ماتریسها تعریف کرد به طوری که شامل یک آرایهی دو بعدی برای ذخیرهی درایههای ماتریس و همچنین یک سری توابع برای ترانهادن، معکوس کردن و ... ماتریس باشد. در این صورت با فراخوانی این توابع، فرآیند مناسب روی آرایهی دو بعدی اعمال میشود. در

نتیجه با متغیرهای ساخته شده از این کلاس میتــوان با دادههایی کــه بیانگر ماتریس در برنامه هست کار کرد.

نکته‌ی ۱: به متغیرهای کلاس، متغیرهای عضــو[1] و بــه توابــع کلاس، توابــع عضــو[2] گفتــه می‌شود.

نکته‌ی ۲: اگر تعیین کننده دسترس در یک کلاس نوشته نشــود، کمپایلر بــه طــور پیش فرض اعضا را `private` در نظر میگیرد. به عنوان مثال:

```
class A{
   int x;
}
```

نکتهی ۳: به متغیرهای اعلان شده از یک کلاس، شی نیز میگویند.

فرق کلاس با struct

در C++ تفاوت `struct` با کلاس در سـطح دسـترس پیش فرض اعضـا اسـت. بـه این صـورت کـه اعضـای `struct` بـه طـور پیش فرض `public` و اعضـای کلاس از نـوع `private` تعیین می‌شوند. با این وجــود هم اعضــای `struct` و هم اعضــای کلاس را می‌توان با هر نـوع سـطح دسـترس (`public`، `protected` و `private`) قرار داد. برای مثال دو تعریف زیر با هم برابرند:

```
class A {
public:
   int x;
};

class B{
   int x;
};
```

از `struct` در C++ **معمولاً** برای تعریف انواع دادههایی استفاده میشود که فقط متشکل

[1]. Member variable
[2]. Member function

از یکسری متغیرهای عضواند (مانند تعریف structهایی که در فصل متغیر و انواع داده (۳) بررسی کردیم). در این انواع دادهها، علاوه بر اعلان نکردن توابع، از ویژگی‌های پیشرفتهی شی‌گرایی – که در ادامه میپردازیم - نیز استفاده نمی‌کنند. مانند:

```
struct House {
  int house_number;
  int postal_code;
  std::string street_name;
};
```

سازنده[1]

سازنده یک تابع بدون مقدار بازگشتی و همنام با نام کلاس است که با ساخت هر شی از کلاس اجرا میشود.

مثال ۳) برنامه‌ای که اجرای سازنده را با ساخت شی نشان می‌دهد.

```
#include <iostream>
using namespace std;
class MyClass {
public:
   MyClass() {
       cout << "Constructor called." << '\n';
   }
};

int main() {
    MyClass m;
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Constructor called.
```

نکته: در صورتی که سازنده نوشته نشود کمپایلر به طور پیش فرض سازنده‌ای را با بدنه‌ی خالی در نظر می‌گیرد و هیچ دستوری اجرا نمی‌شود (مانند مثال ۱ و ۲).

[1] constructor یا به اختصار ctor

همچنین سازندهای که پارامتری نداشته باشد و یا همه‌ی پارامترهایش مقدار پیش فرض داشته باشد، سازندهی پیش فرض[1] نام دارد. در مثال ۳ از این نوع سازنده استفاده میشود.

هدف از سازنده، مقداردهی و اجرا فرآیندهایی است که با ساخت شی نیاز به انجاماند. این فرآیندها شامل تخصیص حافظه‌ی دینامیک (در صورت نیاز)، باز کردن فایل، برقراری ارتباط با دیتابیس و ... می‌شود.

سازنده با پارامتر

اگر سازندهای نیاز به پارامتر داشته باشد، مانند هر تابع دیگر میتوان برای آن لیست پارامتر قرار داد. در ساخت شی نیز، آرگومان‌های مناسب باید به سازنده پاس داده شوند.

مثال ۴) برنامه‌ای که با سازنده، متغیرهای عضو آن مقداردهی می‌شوند:

```
#include <iostream>
using namespace std;
class MyClass {
   int x, y;
public:
   MyClass(int a, int b) {
      x = a;
      y = b;
   }
   void printValues() {
      cout << x << ' ' << y << '\n';
   }
};

int main() {
   MyClass m(2,3);
   m.printValues();
}
```

[1]. Default constructor

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
2 3
```

مخرب[1]

مخرب برخلاف سازنده تابعی است که با از بین رفتن شی اجرا می‌شود. نام این تابع، هم نام با نام کلاس و با یک آکولاد (~) در اول آن است. با نوشته نشدن مخرب، کمپایلر مانند سازنده نیز یک مخرب با بدنه‌ی خالی در نظر می‌گیرد. یکی از کاربردهای مخرب، آزاد کردن منابعی از سیستم است که به طور خودکار آزاد نمی‌شود؛ مثل deleteکردن فضاهای تخصیص یافته به صورت دینامیک. مخرب همچنین وظیفهی لاگ (log) گرفتن از آزاد شدن فضای شی (در صورت نیاز) و یا به طوری کلی هر فرآیندی که با از بین رفتن شی نیاز به انجام است را شامل میشود.

مثال ۵)

```
#include <iostream>
using namespace std;

class MyClass {
public:
   int *arr;
   size_t length;
   MyClass(int *a, size_t s){
      length = s;
      arr = new int[s];
      for(size_t i = 0; i < s; ++i) {
         arr[i] = a[i];
      }
   }
   void printArray() {
      for(size_t i = 0; i < length; ++i) {
         cout << arr[i] << ' ';
```

[1] destructor یا به اختصار dtor

```
        }
    }
    ~MyClass(){
        delete [] arr;
    }
};

int main() {
    int a[5] = {2,3,6,7,3};
    MyClass c(a, 5);
    c.printArray();
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
2 3 6 7 3
```

همچنین منظور از آزاد کردن منابع، فقط آزاد کردن حافظه‌های دینامیک نیست؛ فایل و سوکت باز شده، نخ (thread)، رابط دیتابیس و ... همگی از منابع سیستماند.

کلاس‌ها در C++ پایه‌ی برنامه نویسی شی‌گراییاند. هدف از شیگرایی، صرفا دسته بندی یک سری توابع و متغیرها نیست بلکه ایجاد نوع داده و پیاده کردن مفاهیم کپسول کردن، وراثت، چندریختگی و انتزاع است که در ادامه به هدف و کاربرد هرکدام میپردازیم. یک کلاس علاوه بر متغیر و تابع، شامل typedef و enum نیز میتواند باشد.

forward declare کردن یک کلاس

اگر تعریف یک کلاس بعد از تعریف یک تابع قرار بگیرد و در پارامتر تابع از نام کلاس استفاده شود، مانند:

```
void f(A &a){

}

class A{
```

```
};

int main() {

}
```

کمپایل این دستورات خطای مشابه زیر را ایجاد خواهد کرد:

```
'A' was not declared in this scope
```

زیرا تعریف A بعد از تعریف تابع نوشته شده و تابع از وجودش مطلع نمیشود. برای جلوگیری از این خطا (علاوه بر تعریف کردن A قبل از تابع)، میتوان کلاس A را بعد از تابع تعریف کرد ولی **اعلان آن را قبل از تابع** نوشت. به صورت زیر:

```
class A;
void f(A &a){

}
class A{
};

int main() {

}
```

به این کار forward declare کردن گفته میشود. کلاس A در این حالت اصطلاحاً یک نوع ناقص[1] است. اعلان توابع میتوانند انواع ناقص دریافت کنند و بازگردانند. مانند:

```
void f(A a);
```

ولی تعریف توابع فقط میتوانند اشارهگر یا رفرنس از انواع ناقص دریافت کنند و بازگردانند. مانند:

```
void f(A &a){
}
```

در آخر این فصل به این نکته میپردازیم که اشیای کلاسهایی که تاکنون تعریف کردیم به

[1]. Incomplete type

طور خودکار میتوانند با سازنده یا اپراتور = در اشیای دیگر کلاس کپی شوند. برای مثال:

```
class MyClass{
    int x;
public:
    MyClass(int a){
        x = a;
    }
    void print_x() { cout << x << '\n';}
};
MyClass m(4);
MyClass m2(m);
m2.print_x(); // 4
```

کلاس (۲) (کپسول کردن و لیست انتساب دهندهی عضو)

اگر در برنامه، یک کلاس به نام Person بـرای ذخـیرهی اطلاعات افراد داشـته باشـیم، مثل:

```
#include <string>
class Person{
public:
   std::string Name;
   // …
};
```

بـه دلیـل public بـودن متغـیر عضـو Name، متغیرهای ساخته شـده از این کلاس میتوانند Name را با هر رشتهای مقداردهی کنند. برای مثال:

```
Person p;
p.Name = "Dennis01@";
```

با فرض اینکه اسم اشخاص در برنامه نباید شامل عدد، سـمبلهای @، $ و ... و بـه طـور کلی کاراکترهای غـیر از حروف الفبا باشـد، میتـوان متغـیر عضـو Name را از نـوع private تعـیین کرد و دو تـابع عضـو public بـرای مقـداردهی و مقـدارگیری این متغیر قرار داد. در این حالت تابعی که برای مقـداردهی نوشـته شـده عـدم دریافت یـک رشتهای که شامل کاراکترهای غیر از الفبا است را میتوانـد بررسـی کنـد (در مثـال زیـر، کلاس Person از regex برای این بررسی استفاده میکند. هدف این مثـال آشـنایی با یک مثال عملی است):

```
#include <string>
#include <regex>
class Person{
private:
   std::string Name;
public:
   void setName(const std::string& s) {
      if(std::regex_match(s,std::regex("^[A-Za-z]+$")))
         Name = s;
      else
```

```
        cout << "[error] Invalid string\n";
    }
    std::string getName(){
        return Name;
    }
};
```

در این صورت استفاده از این کلاس به شکل زیر صورت میگیرد:

```
Person p;
p.setName("Dennis");
cout << p.getName() << '\n'; // Dennis
```

در صورت سعی به مقداردهی Name با رشتهای که شامل کاراکترهای غیر از الفبا است، یک پیغام خطا در خروجی نمایش مییابد و به دنبال آن Name مقداردهی نخواهد شد. مثل:

```
Person p;
p.setName("@das2"); // [error] invalid string
```

اگر این کلاس، شامل یک متغیر عضو دیگر به اسم age از نوع int برای دخیره کردن سن افراد باشد، در توابعی با نامهای setAge و getAge میتوان مقدارگیری و مقداردهی آنها را انجام داد؛ به طوری که در setAge با شرط اینکه age فقط میتواند با مقادیر بین ۱ و ۱۰۰ مقداردهی شود، از مقداردهی با مقادیر بیشتر و یا کمتر از این بازه جلوگیری شود. برای مثال:

```
class Person {
private:
   int age;
   //…
   public:
   //…
   void setAge(int a) {
      if(a < 1 || a > 100) {
         cout << "[error] invalid age";
      } else {
```

```
        age = a;
    }
}

int getAge(){
    return age;
}
}
```

در کلاس Person با قرار دادن age و name بـــه صـــورت private و قرار دادن تـــوابعی بـــرای مقـــداردهی (setAge و setName) و مقـــدارگیری (getAge و getName) نمونهای از کپسول کردن است. بـه این ترتیب در این کلاس، از مقـداردهی متغیرهای عضو با مقادیر غیر قابل قبول جلوگیری خواهد شـد. کپسـول کردن در C++ با قرارگیری اعضـا بـه صـورت public، private و protected پیاده میشـود؛ در نتیجه رابطها (interface) و پیاده سازیهای (implementation) یک کلاس را میتوان از هم جدا نمود.

در کپسول کردن به توابع عضوی که برای مقداردهی تعریف میشوند (مثـل setName و setAge) توابع setter و توابع عضوی که مقدارگیری با آنها صـورت میگـیرد (مثـل getName و getAge) توابع getter میگویند.

به عنوان مثالی دیگر از کپسول کردن کلاسی اسـت کـه بـرای ذخـیره و کـار با اطلاعات بانکی ایجاد شده است. در این کلاس برای برداشـت پـول از حساب، با اسـتفاده از توابـع عضو و استفاده از تکنیک کپسول کردن میتوان شرط اینکه پولی کـه میخواهـد برداشـت شود از مقدار پول موجود در حساب بیشتر نباشد را بررسی کرد.

کپسول کردن برای مخفی کردن دادهها و توابع و به طور کلی کارکرد درونی یـک کلاس (private کردن آنها) و قرار دادن یک سری رابطهای ثـابت (از نـوع public) بـرای کار با این اعضا استفاده میشود. نتیجهی این الگو این است که با بزرگتر و پیچیدهتر شدن کلاس و تغییر عملکرد درونی آن تا وقتی که واسـطها ثـابت بماننـد، برنامـه هایی کـه از

کلاس استفاده میکنند نیازی به تغییر ندارند. کپسول کردن همچنین از تغییر غـیر عادی دادههای اشیا - همانطور که گفته شد - جلوگیری میکند.

در صورت عدم استفاده از الگوی یاد شـده، برنـامه بـدون خطـا کمپایـل میشـود ولی در پروژههای بزرگ مشکلاتی در جهت مدیریت و استفاده از کلاس بوجود میآید.

لیست انتساب دهندهی اولیهی عضو[1]

در گذشته برای مقـداردهی اولیهی متغیرهای عضـو از بـدنهی سازنده اسـتفاده میکردیم. مانند:

```
class MyClass {
private:
   int a ,b;
public:
   MyClass(int x1, int x2){
      a = x1;
      b = x2;
   }
};
```

و با پاس دادن مقادیر x1 و a ،x2 و b مقداردهی میشدند. اگرچه برنامه قابل کمپایـل بود، ولی شیوهی صحیح مقداردهی در C++ نیست. بـرای مثـال، ثـوابت و رفرنسها بایـد هنگام اعلان مقداردهی شوند. مانند:

```
int const b = 3;
```

و در صورت عدم مقداردهی اولیه، کمپایلر پیغام خطا صادر خواهد کرد. مانند:

```
int const b;
b = 3; // error
```

به همین طریق اگر متغیرهای عضو از نوع ثابت باشند، هنگام مقداردهی به روش گذشته ممکن نیست: زیرا بدنهی سازنده پس از اعلان متغیر اجرا میشود. مانند:

[1]. Member initializer list

```
class MyClass{
private:
   int const a;
   int &b;
public:
   MyClass(int x1, int x2){
      a = x1; // error
      b = x2; // error
   }
};
```

برای مقداردهی ثوابت و همچنین تمام داده‌های دیگر، می‌توان از لیست انتساب دهنده‌ی اولیهی عضو استفاده کرد. این لیست بین اعلان و تعریف سازنده قرار میگیرد. به شکل زیر:

```
class MyClass {
   int x;
   int y;
   // ...
   public:
      MyClass(a, b):x{a}, y{b}, ...
      {}
};
```

با این روش، متغیرهای عضو در زمان اعلان مقداردهی اولیه می‌شوند.

مثال ۱)

```
#include <iostream>
using namespace std;

class MyClass{
private:
     int a;
     const int b;
     int &c;
public:
      MyClass(int x1, int x2, int x3):a{x1}, b{x2},
```

```
c{x3} {
     cout << "Normal var : " << a << '\n';
     cout << "Const var : " << b << '\n';
     cout << "Ref var : " << c << '\n';
     }
};

int main() {
    int i = 10;
    MyClass SO(1,7,i);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Normal var : 1
Const var : 7
Ref var : 10
```

چند نکته در مورد لیست انتساب دهنده عضو:

۱. به جای استفاده از {} برای مقداردهی، از () میتوان استفاده کرد.

۲. ترتیب مقداردهی متغیرهای عضو معمولی[1]، به ترتیب اعلان آن‌ها در کلاس است.

برای مثال تعریف کلاس زیر یک تعریف صحیح است:

```
class MyClass{
    int a;
    int b;
public:
    MyClass(int x): b{a}, a{x} {
        cout << "b=" << b << " a=" << a <<'\n';
    };
};

MyClass MO(6);
```

و b بعد از a مقداردهی می‌شود.

[1] منظور از معمولی، اعضای غیر static است. تاکنون تمام مقادیری که در کلاس‌ها و اشیا کارکردیم از نوع غیر static بودند.

۳. زمانی که مقداردهی اولیهی متغیر عضو توسط لیست انتساب دهنده انجام شود، سازنده مناسب از آن اجرا خواهد شد. در صورت استفاده نکردن از این لیست، سازندهی پیش فرض عضو اجرا میشود. برای مثال:

```
class A {
private:
   int x;
public:
   A() { x = 0; }
   A(int v) { x = v; }
};

class B {
private:
   A a;
public:
   B(int v):a{v} { // A(int v) is called
   }
};

B b(10);
```

ساخت متغیر با سازندهی پیش فرض و سپس مقداردهی آن، در تعریف شی از int، string و اکثر انواع دیگر تاثیری در عملکرد و یا بازده (به صورت چشمگیر) ندارد ولی توصیه میشود برای مقداردهی اولیه تمام اعضای کلاس از این لیست استفاده کنید. به این ترتیب بدنهی سازنده فقط دستورات مورد نیاز غیر از مقداردهی اولیهی عضوها را انجام خواهد داد.

۴. در لیست انتسابدهندهی اولیه، اسمهای درون {} یا () در ناحیهی سازندهای که این لیست مشخص شده ارزیابی میشوند. در نتیجه نام متغیر عضو با پارامتر سازنده، میتواند یکسان باشد. برای مثال:

```
class MyClass{
int a;
```

```
public:
   MyClass(int a): a{a} // ok
   {}

};
```

سازندهی delegating

یک سازنده میتواند در لیست انتساب دهندهی خود یک سازندهی دیگر را از کلاس اجـرا کند. به چنین سازندهای، سازندهی delegating گفته میشـود و بـه سازندهای کـه توسط این نوع سازنده اجرا میشود، سازندهی target میگویند.

برای مثال:

```
class MyClass {
   int i;
public:
   MyClass(int i, char c): i{i} {}
   MyClass(): MyClass(1, 'a') {}
};
```

در سازندهی delegating، لیسـت انتساب دهنـده فقـط میتوانـد شـامل سازندهی target باشد؛ و افزودن عناصر دیگر خطـای کمپایلر را بـه همراه دارد. دلیـل این نـوع عملکرد این است که انتظار میـرود مقـداردهی اولیهی شـی بـه طـور کامـل در سازندهی target صورت گیرد. همچنین برنامـه پس از اجـرای سازندهی target، بـه اجـرای بدنهی سازندهی delegating میپردازد تا در صـورت نیاز یکسری دسـتورات نـیز در آنجا اجرا شود.

قابلیت سازندهی delegating، از C++11 افزوده شده؛ به این ترتیب از تکرار کـد در سازندههای مختلف و یا لزوم ایجاد یک تابع عضو (مثلاً با نام init)، فقط برای اسـتفاده از آن در سازندهها جلوگیری میشود. استفاده از یک تـابع عضـو جداگانـه (مثـل init)

علاوه بر پیچیده کردن کلاس، خارج از سازندهها نیز میتواند فراخوانی شود. به این ترتیب به جای نوشتن کلاس زیر:

```
class MyClass {
private:
   void init(double x, double y) {
       // init
   }
public:
   MyClass() {
       init(0,0);
   }

   MyClass(double x) {
       init(x,0);
   }
};
```

به صورت زیر میتواند بازنویسی شود:

```
class MyClass {
public:
   MyClass (double x, double y) // : (mem-
initializer) {
     // init
   }
   MyClass(): MyClass(0, 0) {
   }

   MyClass (double x): MyClass(x, 0) {
   }
};
```

کلاس (۳) (ادامهی مباحث پایهای کلاسها)

پاس دادن اشیا به توابع

به دلیل اینکه اشیای کلاسها معمولاً حجم زیادی در حافظه اشغال می‌کنند، پاس دادن آن‌ها به طور عادی و کپی شدن فضای آنها در اکثر مواقع مناسب نیست. اشیای یک کلاس مانند هر شی دیگر میتوانند با اشارهگر یا رفرنس در توابع دریافت شوند. برای مثال:

```
void f (MyClass &x);
```

یا:

```
void f (MyClass *x);
```

همچنین در صورتی که اشیای پاس داده شده در تابع نباید تغییر کنند، پارامتر باید از نوع اشارهگر یا رفرنس به ثابت اعلان شود. مانند:

```
void f(const MyClass &x);
void f(const MyClass *x);
```

به طور کلی زمانی از اشیا از نوع عادی به توابع پاس داده میشوند که تابع بخواهد از شی کپی ایجاد و روی کپی ایجاد شده تغییر ایجاد کند.

توجه شود در صورتی که شی از طریق اشارهگر در تابع دریافت شده، دسترسی به اعضای شی به جای:

```
(*obj).member
```

میتواند با اپراتور انتخاب عضو -> به صورت زیر صورت گیرد:

```
obj->member
```

تعریف عضو خارج از کلاس

برای این کار باید **اعلان** عضو باید در کلاس نوشته شود و سپس **تعریف** آن با اپراتور تفکیک ناحیه (::)، خارج از کلاس قرار گیرد. مثال:

```
class Class1{
```

```
public:
   void f ();
};

void Class1::f (){
   // statment(s)
}
```

اشارهگر this

شی هر کلاس، union یا struct شامل یک اشارهگر به نام this است که به خـــود شی اشاره می‌کند. در C++ از this معمولاً در کلاسها فقط استفاده می‌شود. برای مثال:

```
class MyClass{
   int a;
public:
   MyClass(int a): a{a} {}
   void print_a(){ cout << this->a << '\n';}
};

MyClass m(10);
m.print_a();
```

۱۰ را در خروجی نمایش میدهد. البته در این مثال نوشتن a بـــدون this نـــیز عملکرد مشابهی ایجاد میکند. با این حال به طور معمول در دو جا قرار دادن this کاربرد دارد:

۱. در رفع ابهام زمانی که یک متغیر یا پارامتر تابع عضـــو با متغـــیر عضـــو کلاس هم نـــام باشد. مثلاً:

```
class MyClass{
   int a;
public:
   MyClass(int a): a{a} {}
   void f() {
      int a = 10;
      cout << a << ' ' << this->a << '\n';
   }
```

```
};

MyClass m(5);
m.f(); // 10 5
```

که this->a به متغیر عضو و a به متغیر اعلان شده در f() تلقی میشود.

۲. زمانی که نیاز به بازگردانی شی از خود کلاس است. برای مثال:

```
MyClass& MyClass::f(){
   return *this;
}
```

با فراخوانی این تابع عضو، شی MyClass از نوع رفرنس برمیگردد.

توابع عضو const[1]

در کلاس‌ها یکسری از توابع عضو را می‌توان به صورت const تعریف کرد. توابع عضوی که از نوع const تعیین شدهاند نمیتوانند مقدار متغیرهای عضو کلاس را تغییر دهند. به عنوان نمونه توابع getter را معمولا از نوع const تعیین میکنند. فرمت تعریف تابع const به صورت زیر است:

```
class id{
access_modifier:
   returnType funcName(parm_list) const
   {
   // body
   }
};
```

توجه شود که واژه‌ی const بعد از نام تابع، هم در اعلان و هم در تعریف (در صورت جدا بودن) باید قرار گیرد.

توابع عضو const برخلاف توابع عضو غیر const توسط متغیرهای const از کلاس نیز میتوانند فراخوانی شوند.

[1]. Const member functions

مثال ۱)

```
#include <iostream>
using namespace std;

class MyClass {
   int x;
public:
   MyClass(int x): x(x) {}
   int get_x() const { return x; }
};

void f(const MyClass &m){
   cout << m.get_x() << '\n'; // ok
}

int main() {
   MyClass m(4);
   f(m);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
4
```

دو تابع در کلاس را نیز میتوان طوری سربارگذاری کرد که یکی از آنها از نـوع const و دیگری غیر const باشد. در این صورت شی const، تابع عضـو const و شـی غـیر const، تابع غیر const را فراخوانی خواهد کرد.

برای مثال:

```
class MyClass {
public:
   void f() const { cout << "f\n"; }
   void f() { cout << "f const\n"; }
};

MyClass m;
```

```
const MyClass m2;

m.f(); // f
m2.f(); // f const
```

متغیر عضو mutable

متغیرهای عضو غیر static و غیر const یک کلاس می‌توانند به صورت mutable تعریف شوند. مقادیر متغیرهای mutable، توسط *توابع عضو* const میتوانند تغییر کنند.

تعریف این گونه متغیر با واژه‌ی mutable صورت می‌گیرد و به هر دو صورت زیر صحیح است:

```
mutable data_type member_variable;
data_type mutable member_variable;
```

مثال ۲)

```
#include <iostream>
using namespace std;

class MyClass {
   mutable int a;
public:
   MyClass(int a): a{a} {}
   void f() const {
       a++; // ok
   }
   int get_a() const { return a;}
};

int main() {
   MyClass m(10);
   m.f();
   cout << m.get_a() << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
11
```

استفاده از {} در مقداردهی اولیهی شی

در گذشته دیدیم برای مقداردهی متغیر انواع موجود مثل int، میتوان از =، ()، {} و یا ={} استفاده کرد. برای مثال تمام دستورات زیر صحیح و برابرند:

```
int a = 10;
int a(10);
int a{10};
int a = {10};
```

در این قسمت، بیشتر به تفاوت {} با () و = میپردازیم زیرا در اکثر مکانها عملکرد {} با ={} یکی است.

همانگونه که پیشتر گفته شد یکی از امتیازات {} در مقداردهی متغیرها از انواع اساسی مثل int، جلوگیری از تبدیل narrow است. برای مثال در دستور زیر:

```
int a = 1.5; // a = 1
```

کمپایلر بدون خطا دستور را کمپایل میکند و a را با ۱ مقداردهی میکند. هنگام استفاده از {}، کمپایلر در تبدیل narrow خطا صادر میکند. برای مثال:

```
int a{1.5}; // error!
```

کاربرد دیگر {} در مقداردهی اعضای غیر static یک کلاس (یا struct) است. در C98++، مقداردهی اولیهی این اعضا به طور مستقیم فقط با = ممکن بود. برای مثال:

```
class MyClass{
private:
   int a = 1;
   int b(1); // error
};
```

اکنون با {} نیز میتوان این کار را انجام داد:

```
class MyClass{
```

```
private:
    int b{10};
};
```

یکی از دلایل اصلی اضافه شدن {} به C++، یکسان کردن چند syntax جداگانه بـرای مقداردهیهای مختلف، در عین حال ارتقای کیفیت کد (با جلوگیری از تبدیل narrow) است.

از {} در مقداردهی اولیهی شی کلاس (یا struct) نیز (علاوه بر ()) میتـوان اسـتفاده کرد.

مثال ۳)

```
#include <iostream>
using namespace std;
class MyClass{
public:
   MyClass(int a, int b){
      cout << a << '\t' << b << endl;
   }
};

int main() {
   MyClass MO1(2,3);
   MyClass MO2{3,4};
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
2     3
3     4
```

بـه طـور کلی مقـادیر {} را در std::initializer_list میتـوان ذخـیره کرد.

برای مثال:

```
std::initializer_list<int> il = {1,2,3,4};
```

std::initializer_list در هِدِر <initializer_list> موجود است.

با استفاده از شی std::initializer_list، تعـداد دلخـواهی آرگومان (از یـک نـوع) را میتـوان بـه توابـع پاس داد. پس از دریافت این شـی در توابـع، از اعضـای end، begin و size برای ایجاد حلقه در لیست میتوان اسـتفاده کرد. مقـدار بازگشـتی این اعضـا، با نـوع std::initializer_list<T>::interator قابـل ذخـیره اسـت. استفاده از متغیرهای ایتریتور، مانند اشارهگر صورت میگیرد (با * برای دیرفرنس و ...).

مثال ۴)

```
#include <iostream>
#include <initializer_list>
using namespace std;

void f(initializer_list<int> il){
          for(initializer_list<int>::iterator   p   =
il.begin();
p!=il.end(); ++p) {
        cout << *p << '\t';
   }
   cout << endl;

   for(auto const& i : il) {
      cout << i << '\t';
   }
   cout << endl;
}

int main() {
    f({1,2,3,4,5});
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
1    2    3    4    5
1    2    3    4    5
```

توضیح) در دستورات for، برای آشنایی با نحوهی دریافت، از اسـم کامـل نـوع ایـتریتور

استفاده کردیم؛ در هر دو for از واژهی auto برای اعلان متغیر میتوان استفاده کرد.
std::initializer_list علاوه بر توابع، در پارامتر سازنده نیز میتواند نوشته شود. زمانی که یک سازنده با پارامتر std::initializer_list و سازندهای دیگر با پارامتر عادی موجود باشند، با قرارگیری {} در مقداردهی اولیهی شی، برنامه، سازنده با پارامتر std::initializer_list را اجرا میکند. برای مثال:

```
class MyClass{
public:
    MyClass(int a){
        cout << "int a\n";
    }
    MyClass(initializer_list<int> li){
        cout << "initializer_list\n";
    }
};

MyClass MO{1};
```

برنامه خروجی "initializere_list" را خواهد داشت.

انتخاب سازنده با پارامتر از نوع initializer_list بین چند سازنده، به گونهای است که هر نوع فراخوانی با {} که امکان اجرای آن را ممکن سازد (حتی با تبدیل implicit) باعث اجرای این سازنده میشود. به عنوان یک نکته، کلاسی که شامل این دو سازنده است به طوری که پارامتر یکی از سازندهها initializer_list و دیگری سازندهی پیش فرض باشد، مثل:

```
class MyClass {
public:
   MyClass();
   MyClass(std::initializer_list<int> il);
};
```

با نوشتن دستور زیر:

```
MyClass myObject();
```

هیچ کدام از سازندهها اجرا نمیشود و به جای آن یک تابع اعلان خواهد شد. اعلان تـابع، یک عملکرد کمپایلرها است (برای اطلاعات بیشتر به ضمیمهی ۵ مراجعه کنید). با ایجاد شی از طریق {} و پاس ندادن آرگومان در دستور بالا، برنامه سازندهی پیش فرض را اجرا میکند. مانند:

```
MyClass myObject{}; // first ctor
```

در صورت نیاز به فراخوانی سازنده با پارامتر std::initlializer_list()، بایـد {} در پرانتز نوشته شود. برای مثال:

```
MyClass myObject({});
```

سازندهی دوم را فراخوانی میکند.

ویـژگی دیگر {}، جهت کوتاهنویسـی در ساخت یا دریافت شـی در پارامتر و یا عبارت بازگشتی تابع است. اگر تابعی موجود باشـد کـه با فراخـوانی، شـی کلاس MyClass را برمیگرداند، مانند:

```
MyClass getObject(){
      return MyClass(1,2,3);
}
```

با {} به صورت زیر میتواند بازنویسی شود:

```
MyClass getObject(){
     return {1,2,3};
}
```

به همین ترتیب فراخوانی تابع زیر را:

```
void func(const MyClass &mo) { /* … */ };
func(MyClass(1,2,3));
```

به صورت زیر میتوان بازنویسی کرد:

```
void func(const MyClass &mo) { /* … */ };
func({1,2,3});
```

یکی از تفاوتهای {} با ={}، هنگام استفاده از واژهی auto برای اعلان یک متغـیر اسـت:

هنگام استفاده از auto بـرای تعـیین نـوع متغـیر، اگر initializer در {} باشـد، متغـــیر بـــه صـــورت عادی و اگر در ={} قرار گرفتـــه باشـــد، متغـــیر از نـــوع std::initializer_list با مقادیر درون ={} اعلان میشود. برای مثال:

```
auto i{4}; // i as int with value of 4
auto i = {4}; // i as std::initializer list
```

کلاس (۴) (وراثت، اعضای friend و سربارگذاری اپراتور)[1]

در C++ می‌توان یک کلاس را مشتق کلاس دیگر قرار داد به این معنی که تمام اعضای public و protected کلاس پایه به کلاس مشتق - بدون بازنویسی آن‌ها - اضافه میشوند. در این حالت می‌گوییم کلاس مشتق اعضای public یا protected کلاس پایه را به ارث برده است. پس:

به کلاسی که اعضای public و protected آن به ارث برده می‌شود **کلاس پایه** و به کلاسی که اعضای public و protected کلاس پایه را به ارث می‌برد **کلاس مشتق** گفته میشود.

برای تعریف یک کلاس از نوع کلاس مشتق، بعد از اعلان آن، یک access_specifier و نام کلاس پایه پس از (:) بین تعریف و اعلان آن باید قرار گیرد. با فرمت زیر:

```
class derived_class : access_specifier base_class
{
     // body of the class
};
```

توجه شود که access_specifier در بالا بیانگر این است که اعضای public یا protected کلاس پایه با چه سطح دسترسی در کلاس مشتق قرار می‌گیرند.

access specifier	معنی
public	اعضای public کلاس پایه در کلاس مشتق به صورت public و اعضای protected به صورت protected قرار میگیرند.
protected	اعضای public و protected کلاس پایه در کلاس مشتق به صورت protected قرار میگیرند.

[1]. Inheritance

اعضای public و protected کلاس پایه در کلاس مشتق به صورت private قرار میگیرند.	private

اعضای private کلاس پایه نیز در هیچ نوع وراثتی به ارث برده نمیشوند.

مثال ۱) برنامهای که پیادهسازی وراثت را نشان میدهد:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Person {
public:
   void info() {
      cout << "I can talk.\n";
      cout << "I can walk.\n";
   }
};

class Employee : public Person {
private:
   double salary;
public:
   Employee(double s): salary{s} {}
   void employee_info() {
      cout << "My salary is: " << salary <<
          '\n';
   }
};

class Student : public Person {
private:
   string year;
   string university;
public:
   Student(string y, string u): year{y},university{u}
{}
```

```
   void student_info() {
      cout << "I'm a " << year << " year student
studying at " << university << ".\n";
   }
};

int main() {
   Person p{};
   Employee e{2000};
   Student s{"first", "x"};
   p.info();

   cout << '\n';
   e.info();
   e.employee_info();

   cout << '\n';
   s.info();
   s.student_info();
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
I can talk.
I can walk.

I can talk.
I can walk.
My salary is: 2000

I can talk.
I can walk.
I'm a first year student studying at x.
```

توضیح) چون کارمند و دانشجو به طور کلیتر یک شخصاند، از وراثت در این برنامه استفاده شد تا ویژگیهایی مشترک اشخاص را در هر کلاس کارمند و دانشجو بازنویسی نشوند.

وراثت برای پیادهسازی مسائلی که یک یا چند کلاس با یک کلاس کلیتر قابل بیاناند استفاده میشود. برای مثال فرض کنید که در ساخت یک بازی چند نوع حریف وجود داشته دارد و یک سری ویژگیها در بین تمام حریفها مشترک باشد، مثل سرعت راه رفتن و ... . برای عدم بازنویسی این صفات در تمام کلاسها، میتوان یک کلاس به نام Enemy ایجاد کرد تا تمام صفات و اعمال مشترک حریفها را توصیف کند؛ سپس برای هر نوع حریف میتوان یک کلاس جداگانه مشتق از Enemy تعریف کرد، تا موارد غیر مشترک نیز در آنها توصیف شوند.

مثال ۲) برنامهای که ترتیب اجرای سازنده و مخرب کلاسهای پایه و مشتق را نشان میدهد.

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Base {
public:
    Base(){ cout << "Base's constructor called!\n";}
    ~Base(){ cout << "Base's destructor called!\n";}
};

class Derived: public Base {
public:
    Derived(){cout << "Derived's constructor called!\
n";}
    ~Derived(){cout << "Derived's destructor called!\
n";}
};

int main() {
    Derived DO{};
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
BaseClass's constructor called!
DerivedClass's constructor called!
DerivedClass's destructor called!
BaseClass's destructor called!
```

در صورت پارامتردار بودن سازندهی کلاس پایه، در لیست انتساب دهنـده‌ی عضـو کلاس مشتق باید مقداردهی شـوند. در غـیر این صـورت سازندهی پیش فرض کلاس پایـه (در صورت وجود) اجرا می‌شود. با فرمت زیر:

```
Derived(parameters): Base{parameters},…
{
}
```

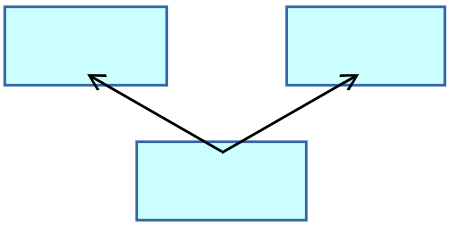
مثال ۳)

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Base {
public:
   Base(int a){
   }
};

class Derived: public Base {
private:
   int a;
public:
   Derived(int x , int y): Base{x}, a{y} {
   }
};

int main() {
   Derived DO{4, 10};
}
```

وراثت چندگانه[1] و چندسطحی[2]

در صورت به ارث بردن یک کلاس از چند کلاس پایه آن را وراثت چندگانه می‌گویند.

دیاگرام آن به صورت زیر است:



مثال ۴)

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Liquid {
private:
   double density;
public:
   Liquid(double d): density{d} {};
   void liquid_info() {
      cout << "Density: " << density << '\n';
   }
};

class Fuel {
private:
   double price;
public:
   Fuel(double r): price{r} {};
   void fuel_info() {
      cout << "Price: " << price << '\n';
   }
};
```

[1]. Multiple inheritance
[2]. Multilevel inheritance

```
class Petrol: public Liquid, public Fuel {
public:
   Petrol(double d, double r): Liquid{d}, Fuel{r}
   {};
   void petrol_info() {
      Liquid::liquid_info();
      Fuel::fuel_info();
      // prints other properties if defined for
petrol
   }
};

int main() {
   Petrol p{0.77,1.6};
   p.petrol_info();
}
```

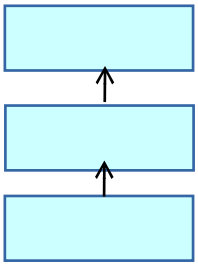
خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Density: 0.77
Price: 1.6
```

توضیح) به دلیل اینکه نفت هم یک مایع است و هم سوخت محسوب میشود از وراثت چندگانه در تعریف کلاس Petrol استفاده کردیم. در این مثال برای Liquid، متغیرهای دیگری برای ذخیرهی ویژگیهای دیگر مایع (علاوه بر چگالی) و یا در Fuel، توابعی برای افزایش یا کاهش قیمت ذخیره شده در price نیز میتوان با توجه به نیاز برنامه افزود.

در صورت به ارث برده شدن یک کلاس مشتق از کلاس مشتق دیگر آن را وراثت چندسطح می‌گویند.

دیاگرام آن به صورت زیر است:



مثال ۵)

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

class Person {
   //…
public:
   void print(){cout << "from Person";}
};

class Employee: public Person {
   //…
};

class Programmer: public Employee {
   //…
};

int main() {
   Programmer p{};
   p.print();
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
from Person
```

استفاده از وراثت چند سطحی و چندگانه مربوط به نوع طراحی برنامه می‌شود.

تابع و کلاس friend

در یک کلاس با تعیین کردن یک تابع از نوع friend به آن تابع اجازهی دسترسی به اعضای private و protected کلاس نیز داده میشود. با وجود اینکه اعلان تابع

friend درون کلاس قرار می‌گیرد ولی تـابع friend بـه عنـوان یـک عضـو کلاس محسوب نیست.

برای تعیین تابع friend، باید واژه‌ی friend قبل از اعلان آن نوشته شود.

با فرمت:

```
class MyClass {
   friend returnType f(optional_params);
};
returnType f(optional_params){
}
```

در این صورت تـابع friend، بـدون متغـیر و بـه صـورت f(*args*) بـه جای x.f() فراخوانی میشود. تعریف تـابع friend در محـل اعلان نـیز میتوانـد قرار گـیرد؛ در این صورت این تابع به صورت inline[1] در خواهد آمـد. توابـع عضـو از کلاسـهای دیگر هم میتوانند از نوع تابع friend تعیین شوند. مثال:

```
class X {
   friend int Y::f(int);
};
```

مثال ۶)

```
#include <iostream>
#include <cmath>
using namespace std;

class MyClass {
  int x;
  friend void print(const MyClass &d ){
     cout << "x: " << d.x << '\n';
  }

public:
   MyClass(int x): x{x} {}
```

[1] توضیح در فصل تابع ۲

```
};

int main() {
   MyClass m{3};
   print(m);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
x: 3
```

یکی از کاربردهای اصلی توابع friend زمانی است که یک تابع نیاز به دسترسی بـه دو کلاس را داشته باشد. برای مثال:

```
class A {
   friend void f(A &a, B &b);
};
class B {
   friend void f(A &a, B &b);
};
friend void f(A &a, B &b) { /* … */ }
```

علاوه بر تابع، یک کلاس (struct یا union) را هم میتوان از نـوع friend قرار داد که در این صورت، کلاس friend تعیین میشود. مانند:

```
class A {
   friend class B;
private:
   int x;
}

class B {
public:
   void f(A a) {
      a.x = 10; // ok
   }
}
```

با اسـتفاده از کلاس friend، میتـوان دسترسـی بـه اعضـای private را فقـط بـه

کلاسهایی که نیاز دارند ایجاد کرد. در نتیجه از public کردن یکسری عضو فقط بـرای تعـداد مشخصـی از کلاس جلوگـیری میشـود. بـه این ترتیب با اسـتفادهی مناسب از کلاسهای friend میتوان کپسول کردن کلاس را ارتقا داد.

سربارگذاری اپراتورها[1]

در یک کلاس با سربارگذاری اپراتورها، میتوان برای اپراتورها زمانی که روی اشیای کلاس اعمال میشوند یک عملکرد تعریف کرد. برای مثال اگر یک کلاس برای کار با زمان نوشته باشیم، به طـوری کـه شـامل اعضـای minutes، hours و seconds باشـد، اعمال اپراتور + روی اشیای این کلاس مانند:

```
Time m3 = m1 + m2;
```

مناسب است که باعث جمع شـدن اجـزای minutes، hours و seconds از m1 و m2 شود و شی جدیدی با مقادیر جمع شده را برگرداند تا m3 با این شی مقداردهی شود. سربارگذاری اپراتور به صورت زیر صورت میگیرد:

```
returnType operator0(optional_param);
```

که **0** اپراتور موجود در C++ است.

اپراتور سربارگذاری شده یک تابع است و مانند یک تابع نیز نوع بازگشتی، لیسـت پارامتر و بدنه دارد.

مثال ۷)

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Cube {
   int x, y, z;
public:
   Cube(int x, int y, int z): x{x}, y{y}, z{y} {}
   int getVolume(){return x*y*z;}
```

[1]. Operator overloading

```
   Cube operator+(const Cube &C0) {
      Cube temp{0,0,0};
      temp.x = x + C0.x;
      temp.y = y + C0.y;
      temp.z = z + C0.z;
      return temp;
   }
};

int main() {
   Cube box1{1,3,5}, box2{6,3,6};
   Cube box3 = box1 + box2;
   cout << box3.getVolume() << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
462
```

مثال ۸)

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Line {
double m, b;
public:
   Line(double m, double b): m{m}, b{b} {}
   double operator()(double x){
      return m*x + b;
   }
};

int main() {
   Line l{2, 4.5};
   cout << l(2) << '\n';
}
```

توضیح) در این مثال برای کار کردن با خط در فضای دو بعدی یک کلاس تعریف کردیم. با پاس دادن x از طریق اپراتور ()، عرض خط برمیگردد. ظاهر استفاده از اپراتور سربارگذاری شدهی ()، مانند ظاهر فراخوانی یک تابع است؛ به همین دلیل به نوع دادهای که () را سربارگذاری کرده باشد، شی تابع (function object) یا فانکتور

(functor) میگویند.

با سربارگذاری اپراتورها میتوان رابط یک کلاس را به صورت واضحتر پیاده کرد. همچنین اپراتورها را طوری سربارگذاری کنید که با اپراتورهای موجود تطابق داشته باشند. برای مثال سربارگذاری اپراتورهای منطقی، مناسب است که با برگرداندن یک مقدار bool پیاده شوند.

اپراتورهای سربارگذاری، شده مانند تابع عضو، با اسم operator**0** نیز قابل فراخوانیاند. در *مثال ۴*، دو دستور زیر برابرند:

```
Cube box3 = box1.operator+(box2);
Cube box3 = box1 + box2;
```

تمام اپراتورها به جز اپراتورهای زیر قابل سربارگذاریاند:

::	.*	.	?:	sizeof

به این ترتیب اپراتور & نیز قابل سربارگذاری است. مانند:

```
struct MyClass {
   MyClass operator&() { … }
};
```

در نتیجه این اپراتور میتواند به جای بازگردانی آدرس یک شی، عمل کاملاً متفاوتی را انجام دهد. برای دریافت آدرس شی چنین کلاسهایی، از اپراتور std::addressof موجود در هِدِر <memory> استفاده میشود:

```
#include <memory>
MyClass m;
addressof(m);
```

addressof در صورت سربارگذاری بودن & نیز آدرس اپراند خود را برمیگرداند.

نیاز به ذکر است که اپراتورها، لزوماً به عنوان توابع عضو کلاسها سربارگذاری نمیشوند. دو اپراتور پرتکراری که خارج از اعضای کلاس سربارگذاری میشوند، اپراتورهای >>و << برای ورودی و خروجی است؛ زیرا اپراند سمت چپ این اپراتورها، اشیای استریم (مثلا cout) قرار میگیرد. مثل:

```
cout <<   myObject << '\n';
```

همچنین به دلیل اینکه سربارگذاری اپراتورهای **>>** و **<<** به طور معمول نیاز به دسترسی به اعضای private کلاس را دارد، تعریف سربارگذاری آنها از نوع friend تعیین میشود.

مثال ۹)

```
#include <iostream>
using namespace std;

class MyClass {
   int x;
   friend ostream& operator<<(ostream& out, const
     MyClass& o);
   friend std::istream& operator>>(istream& in,
     MyClass& o);
 public:
   MyClass(int x) : x{x} {}
};

ostream& operator<<( ostream& out, const MyClass& m)
     {
   out << m.x;
   return out;
}

istream& operator>>(istream& in, MyClass& m) {
   in >> m.x;
   return in;
}

int main() {
   MyClass m{7};
   cout << m << '\n';
   cout << "Specify a value: ";
   cin >> m;
   cout << m << '\n';
```

```
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
7
Specify a value: 10
10
```

توضیح) در این مثال اپراتورهای سربارگذاری شده، شی ostream یا istream قبل از اپراتور و شی MyClass بعد از آن را گرفته و عضو x را مقداردهی و یا مقدارگیری میکنند. در آخر نیز شی جدید استریم برمیگردد تا در صورت وجود با اشیای دیگر استریم ترکیب شود.

کلاس (۵) (چندریختگی)[1]

اگر دو کلاس بـه نـام های Base و Derived داشـته باشـیم بـه طـوری کـه کلاس Derived از کلاس Base مشتق شده باشد، مثل:

```
class Base{
public:
   void f(){cout << "From Base\n";}
};

class Derived: public Base{
public:
   void f(){cout << "From Derived\n";}
};
```

مانند هر کلاس دیگر میتوان رفرنس یا اشارهگری از نوع Derived تعریف کرد کـه بـه شـی Derived اشـاره میکنـد و یا رفرنس داده میشـود. بـرای کـدهای بالا با نوشـتن دستورات زیر:

```
Derived DObject;
Derived *DPtr = &DObject;
Derived &DRef = DObject;

DOPtr->f();
DORef.f();
```

برنامه خروجی "From Derived" را در خروجی نمایش میدهد. این خروجی یـه این معناست که اشارهگر و رفرنس همانطور که پیش بیـنی میشـد تـابع عضـو f() را از شـی Derived فراخوانی میکند (برای یادآوری Obj->member برابر با (*Obj).member است).

در C++ همچنین میتوان اشارهگر یا رفرنسی از نوع پایه تعریف کرد و آن را به شی کلاس مشتق اشاره داد. برای کدهای اول بخش دستورات زیر صحیح است:

[1]. Polymorphism

```
Derived DObject;

Base *BPtr = &DObject;
Base &BRef = DObject;

(*BPtr).f();
BRef.f();
```

و برنامه خروجی "From Base" را در خروجی نمایش خواهد داد. این خروجی بـه این معناسـت کـه برنامـه، تـابع f() از کلاس Base را فراخـوانی کرده. با وجـود اینکـه این دستورات صحیح اند، ممکن است خروجی که انتظار داشـتید تولیـد نشـده باشـد. ولی با توجه به اینکـه اشـارهگر و رفرنس BPtr و BRef در نهایت از نـوع کلاس Base انـد و فقط به توابع عضو کلاس خود دسترسی دارنـد، خروجی منطقی ایجاد میشـود. با اضـافه کردن واژهی virtual قبل از اعلان تابع f از کلاس پایه، در صورت وجـود تـابع عضـو همنام و هم پارامتر در کلاس مشتق، برنامه، تابع عضو کلاس **مشتق** را فراخـوانی خواهـد کرد.

مثال ۱)

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

class Base {
public:
   virtual void f() { cout << "Base\n"; }
};

class Derived1: public Base {
public:
   void f() { cout << "Derived1\n"; }
};

class Derived2: public Base{
```

```
public:
   void f() { cout << "Derived2\n";}
};

void g(Base &b) {
   b.f();
}

int main() {
   Derived1 d1;
   Derived2 d2;
   Base b;
   g(d1);
   g(d2);
   g(b);
}
```

توضیح) در این مثال تابع عضو f، در ۲ دستور g(d1) و g(d2) متناسب با شی کلاس مشتق فراخوانی میشود. در این حالت می گوییم تابع عضو area کلاس مشتق، تابع عضو area از کلاس پایه را نادیده (override) می‌گیرد. به این نوع الگوی شیگرایی، چندریختگی میگویند زیرا شی یک نوع (اشارهگر یا رفرنس کلاس پایه) توابع عضو مختلفی را بر اساس شی که به آن پاس داده میشود (اشیای کلاس مشتق) فراخوانی میکند. یکی از کاربردهای چندریختگی ذخیره کردن اشیای مختلف کلاس‌های مشتق در یک آرایه است؛ از آنجایی که تمام عناصر یک آرایه باید از یک نوع داده باشند، با اعلان یک آرایه از نوع اشارهگر کلاس پایه میتوان اشیا کلاسهای مشتق مختلف را ذخیره کرد. به عنوان مثال:

```
Vehicle *v[] = {&car, &bicycle};
```

در چندریختگی، با فراخوانی کردن تابع عضو virtual، بدنهی توابعی که اجرا میشوند در حین برنامه مشخص خواهند شد؛ به همین دلیل به این ارزیابی late binding

گفته میشود. در مقابل آن، متغیرها و فراخوانی توابع عادی که در حین کمپایل مشخص میشوند، early binding نام دارند. به همین دلیل به چندریختگی، چندریختگی late binding نیز گفته میشود.

در C++ پیاده سازی چندریختگی توسط روشی به نام جدول مجازی (virtual table) صورت می‌گیرد. به دلیل اینکه آشنایی با آن در نحوه‌ی استفاده از چندریختگی تاثیری ندارد از پرداختن به آن پرهیز خواهد شد.

واژه‌ی virtual میتواند علاوه بر تابع عضو کلاس پایه، برای تابع عضو کلاس مشتق نیز نوشته شود.

تابع pure virtual و کلاس پایه‌ی abstract

اگر به جای نوشتن بدنهی تابع virtual در کلاس پایه، اعلان آن مساوی با ۰ قرار گیرد (=۰)، تابع عضو از نوع pure virtual تعیین میشود. کلاس پایه‌ای که حداقل یک تابع pure virtual داشته باشد، کلاس پایه‌ی abstract (انتزاعی) نام دارد. برای مثال:

```
class Base{
public:
   virtual int f() = 0;
};
```

تابع f() از نوع pure virtual است و کلاس Base از نوع کلاس abstract تعریف میشود. از کلاس abstract نمیتوان مستقیم شی ایجاد کرد. برای مثال برای کلاس Base دستور زیر غلط است:

```
Base b; // error
```

با وجود این میتوان از کلاس abstract اشارهگر یا رفرنس تعریف کرد. در این حالت باید تعریف توابع pure virtual در کلاس مشتق قرار گیرند تا نادیده گرفته (override) شوند.

مثال ۲)

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

class Polygon {
public:
   virtual double area() const = 0;
};

class Rectangle: public Polygon {
private:
   double width, length;
public:
   Rectangle(double w, double l): width{w}, length{l}
{}
   double area() const {
       return width * length;
   }
};

class Triangle: public Polygon {
private:
   double base, height;
public:
    Triangle(double b, double h): base{b}, height{h}
{}
   double area() const {
        return (base * height / 2);
   }
};

double getArea(const Polygon *p) {
   return p->area();
}
```

```
int main() {
   Rectangle r{4.6,5.7};
   Triangle t{2.4,5.5};
   cout << getArea(&r) << '\n';
   cout << getArea(&t) << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
26.22
6.6
```

توضیح) این برنامه شامل کلاس Polygon برای کار با چند ضلعی و دو کلاس مشتق Rectangel برای مستطیل و Triangel برای مثلث است. کلاسهای مشتق با تابع عضو area مساحت شکل خود را بر میگردانند. این برنامه همچنین شامل یک تابع به اسم getArea است که یک شی از نوع اشارهگر کلاس پایه (Polygon) میگیرد. با پاس دادن اشیای مختلف کلاس مشتق به دلیل اینکه area از کلاس پایه از نوع virtual pure است، تابع عضو area متناسب با شی مشتق فراخوانی میشود.

در بعضی از پیاده سازیهای چندریختگی، ساخت شی مستقیما از کلاس پایه بیمعنی است. مثلاً در *مثال ۲* برای دریافت محیط یک چند ضلعی، باید نوع آن مشخص باشد. به همین دلیل تابع عضو area() از کلاس Polygon را از نوع pure virtual تعیین کردیم تا هر کلاس مشتق، آن را متناسب با شکل خود پیاده کند.

به کلاس پایهی abstract به طور مخفف ABC (Abstract Base Class) نیز گفته میشود.

RTTI[1] و اپراتور dynamic_cast

RTTI قابلیت C++ برای تعیین نوع شی هنگام اجرای برنامه است. RTTI، دو اپراتور زیر را در دسترس قرار میدهد:

[1]. Run–time type information

۱. typeid
۲. dynamic_Cast

typeid: نوع شی را هنگام اجرا برمی‌گرداند. این اپراتور میتواند برای تعیین مقادیر چندریخت (اشارهگر یا رفرنس کلاس پایه به مشتق) استفاده شود؛ در غیر این صورت مقادیر غیر چندریخت در حین کمپایل تعیین میشوند. این اپراتور در هِدِر <typeinfo> قرار دارد و نوع بازگشتی آن از نوع &const type_info است. این رفرنس با فراخوانی تابع عضو name()، میتواند نام شی را برگرداند.

مثال ۳) برنامه ای که کاربرد typeid را برای مقادیر چندریخت و غیرچندریخت نشان میدهد.

```
#include <iostream>
#include <typeinfo>
using namespace std;

class Base {
public:
   virtual void func() {}
};
class Derived : public Base {};

int main() {
   Derived* pd = new Derived;
   Base* pb = pd;
    int i = 10;
   cout << typeid(pb).name() << '\n';
   cout << typeid(*pb).name() << '\n';
   cout << typeid(pd).name() << '\n';
    cout << typeid(*pd).name() << '\n';
   delete pd;
      cout << typeid(i).name() << '\n';
}
```

برنامه را کمپایل و اجرا کنید تا خروجی مشابه زیر تولید شود:

```
Base
Derived
Derived
Derived
i
```

توجه شود که برای تعیین نوع اشارهگر در صورت دیرفرنس نشدن، حاصل type_info برای نوع اشارهگر تعیین میشود نه شیای که به آن اشاره می‌شود. همچنین اگر نوع اشارهگر که دیرفرنس میشود، به nullptr اشاره کند، typeid استثنای std::bad_typeid را برمیگرداند (با استثناها در آینده آشنا خواهیم شد).

dynamic_cast: در چندریختگی، تبدیل اشارهگر مشتق به پایه به صورت خودکار صورت میگیرد و upcast نام دارد. تاکنون در تمام مثال‌های چندریختگی از upcast استفاده کردیم. برای مثال وقتی دستور زیر را مینویسیم:

```
Base *b{new Derived};
```

تبدیل upcast صورت می گیرد. تبدیل downcast برعکس upcast است به این معنی که زمانی صورت می‌گیرد که اشارهگر کلاس پایه به اشارهگر کلاس مشتق تبدیل می‌شود. downcast بر خلاف upcast باید توسط برنامه‌نویس کَست شود. برای کَست کردن اشیای چندریخت از dynamic_cast استفاده میشود. dynamic_cast بر خلاف static_cast صحیح بودن کَست را در حین اجرای برنامه چک میکند. dynamic_cast در صورت عدم امکان کَست، برای اشارهگرها nullptr و برای رفرنس‌ها، استثنای std::bad_cast را (به دلیل عدم وجود nullptr در رفرنسها) برمیگرداند.

مثال ۴)

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Base {
public:
```

```
   virtual ~Base() {}
   virtual void name() {}
};

class Derived: public Base {
public:
   void name() {}
};

int main() {
   Base* b1 = new Base;
   Base* b2 = new Derived;

   if(Derived* d = dynamic_cast<Derived*>(b1)) {
       cout << "downcast from b1 to d successful\n";
       d->name(); // safe to call
   }

   if(Derived* d = dynamic_cast<Derived*>(b2)) {
       cout << "downcast from b2 to d successful\n";
       d->name(); // safe to call
   }

   delete b1;
   delete b2;
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
downcast from b2 to d successful
```

توضیح) در این برنامه با استفاده از اپراتور dynamic_cast، اشارهگر Base به Derived، به اشارهگر Derived به شی Derived کَست میشود. هنگام downcast کردن b1 به اشارهگر Derived، به دلیل اینکه اشارهگر به شی Derived اشاره نمیکند، کَست صورت نمیگیرد و nullptr برمیگردد. با استفاده از اپراتور dynamic_cast علاوه بر downcast کردن، برای تبدیل بین شی شاخه

های مختلف وراثت نیز میتواند استفاده شود؛ این اپراتور در صورت امکـان شـی جدیـد را برمیگرداند در غیر این صورت کَست صورت نخواهد گرفت. dynamic_cast همچنین چند محدودیت نیز دارد؛ برای مثال فقط برای وراثت public امکان کَست کردن وجود دارد و برای وراثت private و protected امکان پذیر نیست؛ البته این مـوارد نـیز به ندرت پیش می‌آیند.

مخرب virtual

در چندریختگی، زمانی که شی کلاس مشتق توسط اشـارهگر کلاس پایـه از بین میـرود، مخرب کلاس مشتق فراخوانی نمیشود. این عملکرد را در مثال زیر بررسی میکنیم.

مثال ۵)

```
#include <iostream>
using namespace std;

class Base {
public:
    Base(){cout<<"Base constructor called\n";}
    ~Base(){cout<<"Base destructor called\n";}

};

class Derived: public Base {
public:
    Derived(){cout<<"Derived constructor called\n";}
    ~Derived(){cout<<"Derived destructor called\n";}

};

int main() {
    Base* p = new Derived;
    delete p;
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Base constructor called
Derived constructor called
Base destructor called
```

این نوع عملکرد امکان بروز خطای undefined behavior را فراهم میکند. بـرای حل این مشکل باید سازنده کلاس پایه به صورت virtual تعیین شـود. در *مثـال ۵* با اعلان مخرب کلاس Base به صورت زیر:

```
virtual ~Base(){ /* … */ };
```

خروجی زیر تولید میشود:

```
Base constructor Called
Derived constructor called
Derived destructor called
Base destructor called
```

در این حالت، مخرب کلاس پایه نیز فراخوانی میشود. به صورت یک قاعده‌ی کلی، زمانی که کلاس یک یا چند تابع عضـو virtual دارد، مخرب آن را نـیز از نـوع virtual تعیین کنید.

سازندهی virtual

در C++، به طور مستقیم قابلیتی تحت عنوان سازندهی virtual وجود نـدارد؛ بـه این معنی که هنگام ساختن شی در چندریختگی نوع کلاس مشتق باید مشخص باشد. با این وجود به صورت غیر مستقیم میتوان با توابعی با اسـم‌هایی مثـل clone() و create() از نوع virtual، امکان ساخت و یا کپی شی بدون مشخص بودن کلاس مشـتق فراهم شود.

مثال ۶)

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
class Polygon {
public:
   virtual ~Polygon () { }

   virtual Polygon* clone()  const = 0;
   virtual Polygon* create() const = 0;
};

class Circle : public Polygon{
public:
   Circle* clone()  const;   // Covariant Return
Types
   Circle* create() const;   // Covariant Return
Types
  //…
};
Circle* Circle::clone()  const { return new
Circle(*this); }
Circle* Circle::create() const { return new Circle();
}

void f(Polygon& s) {
   Polygon* s2 = s.clone();
   Polygon* s3 = s.create();

   delete s2;
   delete s3;
}

int main() {
     Circle s;
     f(s);
}
```

توضیح) در این مثال، توابع clone() و create() در کلاس پایه را به صورت virtual تعیین کردیم. در این مثال، تابع f میتواند شی هر نوع کلاس مشتق شده را

دریافت کند و بدون مشخص بودن نوع آن، آن را کپی و در ساخت شی از آن استفاده کند. توجه شود که نوع بازگشتی توابع نادیده گرفته شده در کلاس مشتق، به جای کلاس پایه (Polygon)، از نوع کلاس مشتق (Circle) نوشته شده است. این نوع مقدار بازگشتی، **نوع بازگشتی کوواریانت**[1] نام دارد که در کمپایلرهای جدید شناخته شده است (برای اطلاعات بیشتر به ضمیمهی ۴ مراجعه کنید)؛ در این مثال در صورت عدم پشتیبانی کمپایلر، آن را به Polygon تغییر دهید.

واژه‌ی override

فرض کنید دستورات زیر در برنامه موجود باشد:

```
class Base{
   virtual void a(int);
   virtual void b(int);
};

class Derived: public Base{
   virtual void a(float);
   virtual void b(char);
};
```

در این دستورات پارامترهای توابع عضو Derived سهوا اشتباه نوشته شده‌اند. در اجرای برنامه، زمانی که چندریختگی اتفاق بیفتد، به دلیل اینکه توابع کلاس مشتق با کلاس پایه یکی نیستند، توابع جدید اعلان می‌شوند و بدون خطا چند ریختگی صورت نمیگیرد. با استفاده از واژه‌ی override بعد از اعلان تابع به طور مختص به کمپایلر اعلام می‌شود که می‌خواهیم این تابع، تابع پایه را نادیده بگیرد. در صورت عدم انجام این کار خطا صادر خواهد شد. مثال:

```
class Base{
   virtual void a(int);
   virtual void b(int)
```

[1]. Covariant Return Types

```
};

class Derived: public Base{
   virtual void a(int) override;
   virtual void b(int) override;
};
```

واژه‌ی final

از واژه‌ی final در تعریف کلاس‌ها می‌توان استفاده کرد که در صورت قرارگیری، جلوی مشتق شدن از کلاس را میگیرد. این واژه همچنین برای توابع virtual میتواند استفاده شود که در این صورت از نادیدهگرفته شدن (override) آن در کلاس مشتق جلوگیری میشود. برای مثال:

```
class Class1 final {
     // code
};
class Class2: public Class 1 // error
{};
```

و یا:

```
class Class1 {
     virtual void f();
};

class Class2: public Class1 {
     void f() final;
};

class Class3: public Class2{
     void f(); // error
};
```

در این دستورات به دلیل اینکه تابع f() از Class2، تابع f() از Class1 را نادیده میگیرد، به طور خودکار از نوع virtual قرار میگیرد. سپس با قرار دادن آن از نوع final، از نادیدهگرفته شدن آن در توسط تابع f() از Class3 جلوگیری خواهد شد.

نیاز به ذکر است کـه واژههای final و override در مکانهای خـاص بـرای کمپایلر معنی میدهند و جز مشخصههای رزرو شده برای کمپایلر نیسـتند. در نتیجـه اعلان یـک متغیر، تابع و ... به اسم final و override صحیح است:

```
void override() { /* … */} // ok
int final; // ok
```

کلاس (۶) (توابع عضو خاص)

در گذشته مشاهده کردیم اگر یک کلاس ساده مانند کلاس زیر داشته باشیم:

```
class MyClass {
   int x;
public:
   MyClass(int x): x{x} {}
   void print_x() const { cout << x << '\n';}
};
```

امکان کپی اشیای این کلاس در اشیای کلاسهای دیگر کلاس، با استفاده سازنده وجود دارد. برای مثال:

```
MyClass m{4};
MyClass m2{m};
m2.print_x(); // 4
```

به سازندهای که به طور خودکار توسط کمپایلر تولید میشود و امکان کپی اشیای کلاس را فراهم میکند، **سازندهی کپی** گفته میشود. اگر یک کلاس از تخصیص منابع دینامیکی استفاده کند، با اجرای سازندهی کپی، فقط آدرس اشارهگر کپی میشود و فضای دینامیکی مورد اشارهی آن کپی نخواهد شد[1]. برای مثال اگر کلاس زیر را جهت ذخیره و کار با رشتهها تعریف کنیم[2]:

```
#include <cstring>
class MyString {
   char* cstr;
 public:
   MyString(const char* arg)
   : cstr(new char[std::strlen(arg)+1]) {
       std::strcpy(cstr, arg);
   }
```

[1]. Shallow copy

[2] این مثال صرفا جهت آشنایی با مبحث این فصل است. کلاس std::string، کلاس کاملی برای کار و اعمال روی رشتهها است.

```
   ~MyString() {
       delete[] cstr;
   }
};
```

سازندهی کپی باید توسط برنامه نویس تعریف شود تا عمل مناسب جهت کپی منبع دینامیک مورد اشارهی cstr را انجام دهد[1]. این سازنده میتواند به صورت زیر پیاده شود:

```
MyString(const MyString& other) {
    cstr = new char[std::strlen(other.cstr) + 1];
    std::strcpy(cstr, other.cstr);
}
```

بعد از ساخت شی مناسب است امکان کپی آن با اپراتور = نیز وجود داشته باشد. برای مثال:

```
MyString MO1("string");
MyString MO2("");
MO2 = MO1;
```

برای دستیابی به این عملکرد، اپراتور = در کلاس MyString به صورت زیر میتواند سربارگذاری شود:

```
MyString& operator=(const MyString& other) {
   char* tmp_cstr = new char[std::strlen(other.cstr) +
1];
  std::strcpy(tmp_cstr, other.cstr);
  delete[] cstr;
  cstr = tmp_cstr;
  return *this;
}
```

این اپراتور سربارگذاری شده، **کپی assignment**[2] نام دارد.

توجه شود که استفاده از = هنگام تعریف متغیر، سازندهی کپی را اجرا میکند (نه کپی

[1]. Deep copy
[2]. Copy assignment

assignment را). در دستورات زیر شرح داده شده:

```
MyString M01{"string"}; // copy ctor
MyString M02("string"); // copy ctor
MyString M03 = "string"; // copy ctor
MyString M04{""};
M02 = M01; // copy assignment
```

فرض کنیم تابعی به اسم make_MyString() در برنامه تعریف شده باشد که با فراخوانی، شی MyString را برمیگرداند. در این صورت نوشتن دستور زیر:

```
MyString M0;
M0 = make_MyString();
```

برای کلاس MyString مراحل زیر را انجام میدهد:

۱. با فراخوانی تابع، یک شی موقت (temporary) تولید میشود و مقدارش با سازندهی copy در شی M0 کپی میشود.

۲. مقدار از پیش ذخیره شدهی شی M0 از بین میرود.

۳. شی موقت بازگشته از تابع نیز از بین میرود.

به عنوان مثالی دیگر در مورد اشیای موقت، نتیجهی اپراتورهای +، - و ... است. مثلاً اگر اپراتور + برای کلاس MyString سربارگذاری شود، دستور سوم ایجاد شی موقت میشود:

```
MyString M01(“1”), M02(“2”);
MyString M03 = M01 + M02;
```

با توجه به اینکه شی موقت در نهایت پس از پایان دستور از بین میرود، منطقی است که به جای کپی شدن فضای آن، فضایش انتقال یابد. این قابلیت، به طور کلی **انتقال فضا** نام دارد و با استفاده از رفرنس rvalue که در C++11 معرفی شده امکان پذیر است.

جهت یادآوری lvalue در عمل، مقداریست که آدرسش قابل دریافت و یا از نوع رفرنس lvalue باشد؛ در غیر این صورت عبارت از نوع rvalue است. عبارتهای مشخص شده lvalue هستند:

```
int a; // lvalue
int& get_a(){
    return a;
}
get_a(); // lvalue

struct A{
   int x;
};
A A0; // lvalue
A0.x; // lvalue
```

و مقادیر مشخص شده زیر rvalue هستند:

```
10; // rvalue
struct A{
  int a;
}
A().a; // rvalue

int a{10}, b{2};
a + b; // rvalue
```

برای تعریف کامل دسته بندی مقادیر میتوانید به ضمیمهی ۶ مراجعه کنید.

برای افزودن قابلیت انتقال، دو عضو **سازندهی انتقال** و اپراتور **انتقال assignment** نیز باید تعریف شوند. این اعضا برای کلاس MyString به صورت زیر قابل پیادهسازی هستند:

```
// move ctor
MyString(MyString&& other): cstr(other.cstr){
   other.cstr = nullptr;
}

//move assignment
MyString& operator=(MyString&& other) {
     if(this!=&other)
```

```
    {
        delete[] cstr;
        cstr = other.cstr;
        other.cstr = nullptr;
    }
    return *this;
}
```

توجه فرمایید که در انتقال assignment، دستور if از انتقال یک شی به خودش جلوگیری میکند.

همچنین امکان انتقال عبارات lvalue نیز وجود دارد؛ برای این کار از تابع std::move موجود در هِدِر <utility> استفاده میشود. برای MyString دستورات زیر کاربرد std::move را نشان میدهند:

```
#include <utility>
…
MyString M0("string");
MyString M02(std::move(M0));
```

تابع std::move، آرگومان lvalue خود را به rvalue تبدیل میکند که در نهایت باعث فراخوانی عضو انتقال شی میشود. با وجود اینکه خروجی تابع std::move از نوع rvalue است، مقدار آن یک مقدار موقت (temporary) نیست. به همین دلیل کمیتهی C++ چنین مقداری که قابل انتقال هست ولی مقدار موقت ندارد xvalue نامگذاری کرده است. مقادیر xvalue جزئی از مقادیر rvalue هستند.

نکتهی قابل ذکر در مورد رفرنس rvalue این است که با اینکه این رفرنسها به یک مقدار rvalue ارجاع داده میشوند، با این حال خود میتوانند هم rvalue و هم از نوع lvalue باشند. رفرنس rvalue در صورت داشتن اسم یک عبارت lvalue است. مثل رفرنس a در دستور زیر:

```
int&& a{10}; // lvalue
```

در صورت عدم داشتن نام، رفرنس rvalue یک نوع rvalue است. مثل فراخوانی تابع

زیر:

```
int&& f() { /* … */ }
f(); // rvalue
```

در نتیجه اگر تابعی به صورت زیر داشته باشیم که با رفرنس rvalue، متغیر MyString میسازد:

```
void usesMyString(MyString&& S1){
    MyString S2 = S1; // executes copy ctor
}
…
usesMyString(MyString("String"));
```

هنگام ساخت شی S2، سازندهی کپی اجرا میشود و شی S1 انتقال نمییابد. برای انتقال رفرنس rvalue، مانند هر lvalue دیگر از std::move() باید استفاده کرد:

```
void usesMyString(MyString&& S1){
    MyString S2 = std::move(S1); // executes move
ctor
}
```

توجه شود که از std::move() جهت بازگشت مقدار از توابع نباید استفاده شود. برای مثال:

```
MyString make_MyString() {
    MyString S1("string");
    return std::move(S1);   // bad
}
```

زیرا با نوشتن std::move()، از بهینه سازی RVO[1] که توسط کمپایلر صورت میگیرد، جلوگیری میشود. بهینه سازی RVO در صورت امکان، عبارت بازگشتی را به صورت خودکار انتقال میدهد. به همین ترتیب تابع make_MyString() باید بدون std::move() نوشته شود. همچنین مقدار بازگشتی تابعی که شی برمیگرداند (به نام تابع فکتوری) نباید از نوع رفرنس rvalue به شی ایجاد شده در تابع (شی اتوماتیک)

[1]. Return value optimization

باشد. در این صورت خطای Undefined behaivour ایجاد می‌شود. برای مثال:

```
MyString &&make_MyString() // don't do this
{
    return MyString("string");
}
```

توابع عضو خاص[1]

در گذشته بررسی کردیم اگر هیچ سازنده‌ای در کلاس اعلان نشود، کمپایلر به طور خودکار یک سازنده بدون پارامتر (سازنده‌ی پیش فرض) و با بدنهی خالی ایجاد میکند. علاوه بر سازنده‌ی پیشفرض، ۵ تابع عضو زیر نیز در صورت نیاز و با شرایط خاص ایجاد میشوند. این توابع عبارتاند از:

- مخرب
- سازنده‌ی کپی
- کپی assignment
- سازنده‌ی انتقال
- انتقال assignemnt

شرایط ایجاد این اعضا در جدول زیر بررسی شده:

تابع عضو	شرط ایجاد	تعریف پیش فرض
سازنده‌ی پیشفرض	اگر سازنده دیگری اعلان نشده باشد.	بدنهی خالی
مخرب	اگر مخرب اعلان نشده باشد.	بدنهی خالی
سازنده‌ی کپی	اگر اعضای انتقال اعلان نشده باشند.	کپی اعضا
کپی assignemnt	اگر اعضای انتقال اعلان نشده باشند.	کپی اعضا
سازنده‌ی انتقال	اگر اعضای انتقال، کپی و مخرب	انتقال اعضا

[1]. Special member functions

	اعلان نشده باشند.	
انتقال اعضا	اگر اعضای انتقال، کپی و مخرب اعلان نشده باشد.	**انتقال assignment**

مثال)

```
#include <iostream>
#include <utility>
using namespace std;

class MyClass{
private:
     int x;
public:
     MyClass(int x): x(x) {}
     int get_x() const {
          return x;
     }
};

int main() {
   MyClass O1(10);
   MyClass O2(O1);
   cout << O2.get_x() << '\n';
   MyClass O3 = move(O2);
   cout << O3.get_x() << '\n';
   cout << O2.get_x() << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
10
10
10
```

توضیح) در این مثال با اعلان نکردن توابع عضو خاص، کمپایلر آنها را به طور خودکار ایجاد میکند. در این برنامه وجود اعضای کپی و انتقال اشیای کلاس بررسی میشوند.

توجه شود که اعضای انتقال تولید شده، اعضا را نظیر به نظیر انتقال میدهند. هنچنین در C++، انتقـال دادن متغیرها از نوعهای پایهـای مثـل int، double و ... باعث کپی آنها میشود؛ در نتیجه با انتقال شی 02 در این مثال، فضای متغیر x از 02 بعد از انتقال هنوز باقی خواهد ماند.

توابع عضو خاص - علاوه بر کلاسهایی که از تخصیص دینامیک حافظه استفاده میکنند - در کلاسهایی که نیاز به عملکرد خاص دارند نیز باید توسط برنامه نـویس تعریـف شـوند. برای مثال:

```
class MyClass{
public:
   .
   .
   .
  ~MyClass(){
      makeLog("MyClass object destructed.");
  }
};
```

توجـه شـود در این کلاس با تعریـف مخرب، از تولیـد اعضـای انتقـال توسـط کمپایلر جلوگیری میشود. توابع عضو خاص که بر اساس شرایط گفته شده ایجاد نشدهاند میتوان به صورت زیر تولید شوند:

```
memberFunction_declaration = default;
```

در کلاس MyClass، تولید اعضای انتقال که با اعلان مخرب ایجاد نمیشدند، به صورت زیر میتوانند به برنامه اضافه شوند:

```
MyClass(MyClass&&) = default;
MyClass& operator=(MyClass&&) = default;
```

همچنین با تعریف اعضای انتقـال، تولیـد خودکـار اعضـای کپی نـیز متوقـف میشـود. در صورت نیاز به این اعضا، دستورات زیر نیز باید به کلاس اضافه شوند:

```
MyClass(const MyClass&) = default;
MyClass& operator=(const MyClass&) = default;
```

در نتیجه تعریـف کامـل کلاس MyClass کـه نیاز بـه مخرب غـیر پیش فرض دارد بـه

صورت زیر میشود:

```
class MyClass{
…
public:
    MyClass(){};
    MyClass(MyClass&&) = default;
    MyClass& operator=(MyClass&&) = default;
    MyClass(const MyClass&) = default;
    MyClass& operator=(const MyClass&) = default;
  ~MyClass(){
      makeLog("MyClass object destructed.");
  }
};
```

برای جلوگیری از تولید اعضای خاص، از delete بهجای default میتوان استفاده کرد. به صورت:

```
memberFunction_declaration = delete;
```

اگر در کلاسی فقط اعضای انتقال معنیدار باشند، به صورت زیر میتواند از تولید اعضای کپی جلوگیری کرد:

```
class uncopyable{
public:
   uncopyable(){};
   uncopyable(uncopyable&&) = default;
   uncopyable& operator=(MyClass&&) = default;
   uncopyable(const uncopyable&) = delete;
   uncopyable& operator=(const uncopyable&) = delete;
   ~uncopyable(){
      makeLog("uncopyable object destructed.");
   }
};
```

البته در این مثال به دلیل وجود اعضای انتقال، بدون delete قرار دادن اعضای کپی نیز این اعضا به صورت خودکار ایجاد نمیشوند؛ در این مواقع برای واضحتر کردن عملکرد کلاس و جلوگیری از نتایج غیر منتظره توصیه میشود که اعضای مورد نیاز را با

default افزوده و یا با delete حذف کنید.

اکنون به علت وجود شرایط تولید و یا عدم تولید توابع عضو خاص میپردازیم. در C98++، که اعضای انتقال معرفی نشده بودند، اعضای سازندهی کپی، کپی assignment و مخرب به تولید یک دیگر وابسته نبودند؛ زیرا اهمیت Rule of three مورد توجه قرار نگرفت. rule of three یک مفهوم در C98++ بود که در کدنویسی کلاسها بیان میکرد: در صورتی که یکی از سه اعضای مخرب، سازندهی کپی و کپی assignment توسط برنامه نویس تعریف شوند، هر سه عضو نیز باید توسط برنامه نویس ایجاد شوند. منطق این قانون این است که در صورت نیاز به تعریف یکی از سه اعضا احتمالاً کلاس از منابع خارجی استفاده میکند؛ به همین ترتیب فرآیندهای مناسب برای ایجاد deep copy نیز باید توسط برنامه نویس ایجاد شود. در C++11 با توجه به این قانون، کمیتهی C++ توابع عضو اضافه شده (سازندهی انتقال و انتقال assignment) را به گونهای معرفی کرد که با ایجاد آنها توسط برنامه نویس، تولید بقیهی اعضای خاص به طور خودکار انجام نشود. تولید این اعضا به دلیل ایجاد مشکل در کمپایل کدهای قدیمی، برای ۳ عضو خاص C98++ قرار نگرفت. در C++11 به بعد Rule of five و Rule of zero نیز معرفی شدند. Rule of five بیان میکند با تعریف ۳ عضو مخرب، سازندهی کپی و کپی assignment از تولید خودکار اعضای انتقال جلوگیری میشود، در نتیجه در صورت نیاز به اعضای انتقال، هر ۵ عضو باید توسط برنامه نویس ایجاد شوند. Rule of zero نیز بیان میکند در کلاسی که ۵ عضو خاص توسط برنامه نویس تعریف شدهاند، کلاس، منبع را باید به طور انحصاری مدیریت کند. در کلاسهای دیگر نیز نباید هیچ یک از این ۵ عضو تعریف شود. مثال:

```
class rule_of_zero {
private:
    std::vector<int> v;
    int i;
};
```

این کلاس از منابع خارجی استفاده نمیکند، به این ترتیب با تعریف نکردن هیچ یک از ۵ عضو، با انتقال و کپی اشیای این کلاس، اعضایشان نظیر به نظیر کپی/انتقال مییابند.
نکتهی قابل ذکر در مورد اعضای انتقال و کپی این است که با انتقال شی، لزوماً شی منتقل نمیشود. ابتدا نحوهی عملکرد rvalue را یادآوری میکنیم و سپس به بررسی این عبارت میپردازیم. به طور کلی با رفرنس lvalue به صورت const میتوان به یک مقدار rvalue ارجاع کرد؛ برای مثال:

```
int const& i = 5;
```

این نوع رفرنس، توانایی ایجاد تغییر مقدار مورد ارجاعش را ندارد. برای رفرنس i دستور زیر غلط است:

```
i = 6; // error
```

رفرنس rvalue نیز میتواند به یک مقدار rvalue ارجاع شود:

```
int &&i = 5;
```

با این تفاوت که توانایی تغییر شی مورد ارجاع را دارد؛ برای i:

```
i = 6; // ok
```

در صورتی که دو تابع سربارگذاری شوند و یکی رفرنس rvalue و دیگری رفرنس lvalue از نوع const را بگیرد، با پاس دادن rvalue، برنامه تابع با پارامتر rvalue را فراخوانی میکند. برای مثال:

```
void print(int const& i){
    std::cout << "i = int const& \n";
}

void print(int &&i){
    std::cout << "i = int && \n";
}

print(10);
```

خروجی زیر را خواهد داشت:

```
i = int &&
```

نتیجهی این عملکرد این است که با پاس دادن rvalue به شـی، صرفا مقـدار rvalue منتقل نمیشود؛ زیرا این مقادیر فقط زمانی منتقل میشوند که سازندهی انتقال، سازندهی کپی را سربارگذاری کرده باشد. در غیر این صـورت توسـط سازندهی کپی نـیز میتواننـد دریافت شوند.

مثال)

```
#include <iostream>
#include <utility>
using namespace std;

class MyClass{
public:
   MyClass(){};
   MyClass(const MyClass& other) {
      cout << "copy ctor executed\n";
   };
   MyClass& operator=(const MyClass& other){
      cout << "copy assignment executed\n";
  }
  ~MyClass() = default;
};

int main() {
   MyClass O1;
   MyClass O2 = move(O1);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
copy ctor executed
```

با سعی به انتقال مقدار rvalue، از کمپایلر درخواست میشود تا در صورت وجود اعضای انتقال آن را منتقل کند در غیر این صورت کپی صورت میگـیرد. با حـذف کردن اعضـای انتقال با delete، کمپایلر تولید اعضـای کپی را نـیز متوقـف میکنـد؛ در این صـورت با

سعی به انتقال شی پیغام خطا صادر میکند:

```
class MyClass{
public:
    ...
    MyClass(MyClass&&) = delete;
    MyClass& operator=(MyClass&&) = delete;

};

MyClass O1{};
MyClass O2 = move(O1); // error
```

دادههای اساسی C++ نیز همانطور که گفته شد، اساساً فاقد فرآیندهای انتقالاند و با سعی به انتقال آنها، باعث ایجاد کپی از آنها میشود. برای مثال:

```
int i{4};
int i2 = std::move(i);
cout << i << '\n'; // 4
cout << i2 << '\n'; // 4
```

واژه‌ی static

هر شی در برنامه یک طول عمر[1] دارد. چهار طول عمر اشیا عبارتاند از:

۱. اتوماتیک: فضای یک شی با طول عمر اتوماتیک با آغاز بلـوک اشـغال و با خروج از آن آزاد می‌شود. متغیر a در تابع زیر، نمونهای از این نوع شی است:

```
void f() {
   int a;
}
```

۲. دینامیک: اشیایی که با تخصیص حافظه‌ی دینامیک ایجاد و آزاد می‌شـوند از نـوع این طول عمراند. برای مثال:

```
int *a = new int;
delete a;
```

۳. موقت: فضای اشیای موقت با عبارتی درون عبارت دیگر ایجاد میشوند و با اتمام اجرای عبارت بیرونی نیز از بین میروند. برای مثال:

```
int a = 1, b =2, c;
c = a + b;
```

۴. استاتیک (static): فضای شی اسـتاتیک با شروع برنامـه ساخته و با پایان آن آزاد خواهد شد. متغیری که خارج از هر تابعی اعلان شـده، نمونهـای از یـک شـی با این نـوع طول عمر است. برای مثال:

```
int a;
int main(){
}
```

برای اعلان یک متغیر از نوع استاتیک که در یک بلـوک اعلان شـده، از واژهی static استفاده میشود. برای مثال:

```
void f() {
   static int i;
}
```

[1]. Storage duration

مقداردهی اولیه متغیرهای static فقط بار نخستی که برنامه به اعلان آنها برسد صورت می‌گیرد.

مثال ۱)

```
#include <iostream>
using namespace std;

void f(){
   static int counter = 1;
   cout << counter << ' ';
   counter++;
}

int main() {
   for(int i = 0; i < 5; ++i) {
       f();
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
1 2 3 4 5
```

توضیح) فضای متغیر استاتیک counter، در طول برنامه ثابت میماند. همانطور که از خروجی برنامه مشخص است، مقداردهی اولیهی متغیر a با ۱ فقط در اولین فراخوانی تابع صورت می‌گیرد و در فراخوانی‌های بعدی فقط آخرین مقدار آن در دسترس قرار میگیرد.

کاربرد دیگر واژهی static در اعلان اعضای یک کلاس است. در تعریف کلاس زیر:

```
class A{
public:
   int x;
};
```

برای متغیر عضو x در هر شی ایجاد شده از کلاس A، فضای جداگانهای اشغال میشود.

اگر بخواهیم یک متغیر تعریف کنیم که فضای آن در تمام اشیای یک کلاس مشترک باشد و مقدار آن بین تمام اشیا یکسان بماند، باید متغیر عضو را با واژهی static اعلان کنیم. برای مثال:

```
#include <iostream>
using namespace std;

class A{
public:
   static int x; // declaration
};

int A::x = 4; // definition
int main() {
   A a, a2;
   a.x++;
   cout << a.x << "=" <<
           a2.x << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
5=5
```

توضیح) در این برنامه مقدار متغیر عضو استاتیک با یک شی (a) افزایش مییابد و مقدار آن هنگام دسترسی با شی دیگر نیز تغییر کرده است. متغیر عضوی که از نوع static تعیین شده، فقط اعلان آن قرار میگیرد. برای استفاده از آن، خارج از کلاس (بدون واژهی static) باید تعریف شود. در این مثال خط زیر متغیر a را تعریف و مقداردهی اولیه میکند:

```
int A::x = 4;
```

اگر متغیر با تعریف مقداردهی اولیه نشود، برنامه آن را با ۰ مقداردهی میکند. برای مثال:

```
int A::x;
```

برای دسترسی به متغیر عضو static، علاوه بر شی، از نام کلاس همراه با:: نیز میتوان استفاده کرد. در این مثال، سه عبارت زیر برابرند:

```
a.x;
a2.x;
A::x;
```

اگر عضو static عدد صحیح یا enum از نوع const باشد، در کلاس مستقیم با = یا {} میتواند مقداردهی اولیه شود. در این صورت نیاز به تعریف جداگانه آن در خارج از کلاس نیست. برای مثال:

```
class A {
     const static int x = 10;
}
```

همچنین اعضای استاتیک زمانی که constexpr باشند نیز میتوانند در کلاس با مقادیر ثابت مقداردهی اولیه شوند. برای مثال:

```
class A{
public:
    constexpr static int ar[]{1,2,3};
    constexpr static int i = 1;
};
```

از C++17، متغیر عضو static که با واژه‌ی inline نوشته شده باشد نیز می‌تواند در خود کلاس تعریف و مقداردهی اولیه شود. برای مثال:

```
class A{
public:
   inline static int i = 1;
};
```

تابع عضو static

تابع عضوی که از نوع static تعریف شده، مانند متغیر عضو static، میتواند بدون اشیای کلاس به آن دسترسی ایجاد شود. این نوع توابع، دسترسی به اعضای غیر

static کلاس را ندارند. توابع عضو یک کلاس زمانی از نـوع static اعلان میشـوند که عمل آنها کلی باشد و وابسته به مقادیر غیر static کلاس نباشند.

مثال ۲) برنامه‌ای که از تابع عضـو static بـرای نمایش یـک متغـیر static کلاس استفاده میکند.

```
#include <iostream>
using namespace std;

class A{
public:
   inline static int counter = 0;
   A(){
      counter++;
   }
   static void printCounter(){
      cout << counter << '\n';
   }
};

int main() {
   A a,a2,a3;
   A::printCounter();
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
3
```

توضیح) این برنامه با ایجاد هر شی یکی به مقدار counter اضافه می‌کند و در نهایت با تابع printCounter مقدار این متغیر نمایش می‌یابد.

توابع static به this نمی‌توانند دسترسی پیدا کننـد زیـرا این نـوع توابـع بین تمام اشیا به اشتراک گذاشته می‌شوند.

واژهی static، در تعیین اتصال (linkage) اجزا نیز کاربرد دارد که در فصل آینـده بررسی می‌کنیم.

چند فایل کردن کد منبع

در پروژه‌های بزرگ C++ کدهای منبع برنامه را برای کدنویسی و مدیریت آسانتر به چند فایل تقسیم می‌کنند. این فایل‌ها میتوانند شامل کلاسها، توابع و عناصر دیگر C++ باشند. اگر دو فایل به اسم A.cpp و فایل main.cpp (که تابع main در آن قرار دارد) موجود باشد، با کمپایل برنامه، ابتدا فایلmain.cpp و سپس A.cpp کمپایل و به **فایل شی**[1] تبدیل می‌شوند. سپس فایلهای اشیای ایجاد شده، در مرحلهی **لینک کردن**[2] به هم متصل میشوند. به دلایل زیر ساختی هر فایل شی، از عناصر موجود در فایلهای اشیای دیگر اطلاع ندارد. برای استفاده از این اعضا، *اعلان* اجزای مورد نیاز در هر فایلی که از آنها استفاده میکند باید قرار گیرد. برای مثال:

```
// A.cpp
void f(){
    // body
}

// main.cpp
void f();

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

اگر تابع f (از فایل A.cpp) علاوه بر main.cpp در فایلهای دیگر نیز استفاده شود، اعلان آن در هر فایلی که از آن استفاده میکند نیز باید افزوده شود. برای جلوگیری از بازنویسی اعلانها در هر فایل .cpp، از فایل هِدِر (معمولا با پسوند .h یا .hpp) استفاده میشود. در فایل هِدِر، اعلان اجزا (به طور کلیتر، واسطها) قرار میگیرد و تعریف آنها در یک فایل .cpp قرار خواهد گرفت. برای مثال:

```
// A.h
void f();
```

[1]. Object file
[2]. Linking

```
// A.cpp
void f(){
    // body
}
```

اکنون فایلهای main.cpp و B.cpp اگر به تابع f نیاز داشته باشند، به جای اعلان جداگانه آن در هر فایل، با دستور # include به صورت زیر:

```
// main.cpp
#include "A.h"

int main() {
    f();
}

// b.cpp
#inlcude "A.h"
void g(){
   f();
}
```

اعلان تابع f در هرکدام از فایل‌ها افزوده میشود. نحوهی عملکرد # include، مشابه کپی و پیست کردن محتوای فایل مقابل آن در فایلی که دستور در آن نوشته شده است. البته در این مثال استفاده از فایل هِدِر، تفاوت محسوسی با اعلان مستقیم f در فایلهای b.cpp و main.cpp دیده نمیشود. ولی در فایلهایی که شامل تعداد زیادی تعریف است، راحتی استفاده از فایل هِدِر محسوس خواهد شد. دستور # inlcude یک دستور پیشپردازنده است. دستورات پیشپردازنده قبل از کمپایل دستورات اصلی C++ و در مرحلهای به اسم پیشپردازش اجرا می‌شوند. به فایل منبع (.c ،cpp) و هِدِرهایی که در مرحلهی پیشپردازش (با # include) به آن افزوده میشود، واحد ترجمه[1] (به طور مخفف TU) گفته میشود.

اگر نام فایلی که مقابل # include قرار میگیرد در <> نوشته شود، برنامه فایل هِدِر

[1]. Translation Unit

را از کتابخانه‌ی استاندارد به برنامه میافزاید. اگر نام فایل در "" قرار گیرد، فایل نوشته شده از دایرکتوری مقابل # include اضافه خواهد شد (در صورت وجود فقط نام یک فایل، دایرکتوری هِدِر از دایرکتوری فایل جست و جو میشود).

مثال ۱) در این مثال با افزودن یک کلاس در فایل مجزا به برنامه با استفاده از qt creator آشنا می‌شویم. IDEهای دیگر روند مشابهی دارند.

۱. ابتدا یک پروژه ایجاد کرده و سپس از منوی File گزینه‌ی New File or Project را انتخاب کنید.

۲. گزینه‌ی C++ و سپس C++ Class را از قسمت راست انتخاب کنید و روی ... Choose کلیک کنید. با این کار فایل جدیدی شامل یک کلاس ایجاد میشود.

۳. در قسمت Class Name واژه‌ی MyClass را برای کلاس نوشته و روی Next کلیک کنید.

۴. روی Finish کلیک کنید.

دستورات زیر را در فایل‌های ایجاد شده تایپ کنید:

```
// main.cpp
#include <iostream>
#include "myclass.h"
using namespace std;

int main() {
    MyClass m;
    m.f();
}

myclass.cpp:
#include "myclass.h"
#include <iostream>
MyClass::MyClass() {}

void MyClass::f()
```

```
{
    std::cout << "f()\n";
}
```

```
myclass.h:
#ifndef MYFILE_H
#define MYFILE_H
class MyClass
{
public:
   MyClass();
   void f();
};
#endif // MYFILE_H
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
4100
```

توضیح) همانطور کـه از خروجی دیـده می‌شـود، در myfile.cpp از اپراتـور تفکیـک ناحیه (::) برای تعریف اجزای کلاس استفاده شده است.

در *مثال ۱*، سه دستور پیشپردازندهی زیر که در فایل .h بـه طـور خودکارتوسـط IDE اضافه میشود:

```
#ifndef MYCLASS_H
#define MYCLASS_H

//  content

#endif
```

روشی است که در آن از چند بار افزوده شدن محتـوای یـک هِـدِر با اسـتفاده از ماکروها جلوگـیری می‌شـود. بـه این صـورت کـه ابتـدا با افزوده شـدن این هِـدِر، ماکروی MYCLASS_H در فایل تعریف می‌شود و محتوا (content) نیز به فایل افزوده خواهـد شد. در صورت سعی به افزودن دوبارهی این هِدِر، به دلیل اینکـه ماکروی MYCLASS_H

در فایل از قبل تعریف شده است، ساختار شرط پیشپردازنده اجرا نمی‌شود و محتوای content بار دیگر افزوده نخواهد شد. همچنین نام ماکروی MYCLASS_H کاملاً اختیاری است ولی معمولاً با حروف بزرگ نوشته می‌شود.

در مورد هِدِرهای کتابخانه‌ی استاندارد لازم به ذکر است که پسوند .h نام آنها نباید نوشته شود. در صورت قرار دادن .h کمپایلر، هِدِر را از کتابخانه‌ی استاندارد C جست‌وجو می‌کند. مثلاً:

```
#include <string>
```

هِدِر string را که مختص C++ است به فایل افزوده میشود، ولی:

```
#include <string.h>
```

هِدِر string زبان C که کاملاً هِدِری متفاوتی است افزوده میشود. همچنین برای استفاده از هِدِرهای زبان C به جای قرار دادن h. می‌توان حرف c را قبل از نام آن قرار داد. مثلاً:

```
#include <cstring>
```

که معادل:

```
#include <string.h>
```

است؛ با این تفاوت که هِدِرهایی که با c شروع میشوند (مثل cstring) اجزای آنها در std namespace قرار دارند. در نتیجه استفاده از این هِدِرها نسبت به .h توصیه میشود (زیرا اسم اجزای هِدِر مستقیما در فایل قرار نخواهند گرفت).

اتصال (linkage)

یک اسم در برنامه که بیانگر یک شی، رفرنس، تابع، نوع، قالب، namespace و یا شمارنده است، به طور کلی میتواند ویژگیای به اسم اتصال (linkage) داشته باشد. اتصال (linkage)، یکسان بودن اسم را در ناحیههای مختلف بیان میکند. متغیرهایی که در یک **بلوک** بدون واژهی extern اعلان شدهاند، اتصال ندارند. این اسمها فقط در

بلوکی که اعلان میشوند قابل استفادهاند. در صورت اعلان یک جز هم نام با اسـم اجـزای بدون اتصال، اعلان جدیدی با یک فضای متفاوت در برنامه ایجاد میشود. برای مثال:

```
void f(){
   int x = 2;
   cout << x << '\n';
}

void f2(){
   int x = 3;
   cout << x << '\n';
}

f(); // 2
f2(); // 3
```

اتصال داخلی (internal linkage) به این معنی اسـت کـه اسـم، فقـط در واحـد ترجمهای (TU) که در آن اعلان میشود قابل مشاهده است. متغیر و تـوابعی کـه با واژهی static در ناحیهی namespace اعلان میشوند از این دستهاند. متغیرهای const (و constexpr) به طور پیش فرض و اسـمهایی کـه در namespace بـدون اسـم اعلان میشوند با اتصال داخلیاند. برای مثال:

```
namespace {
    int i;
}

static int i;
const int i2;

static void f();

int main(){
    // …
}
```

اسمی که اتصال خارجی (external linkage) دارد به این معنی است که توسـط

لینکر قابل دسترس است و میتواند بین TUهای مختلف استفاده شود. هر متغیر غیر const و بدون static، متغیر اعلان شده با extern و توابعی که اعلان آنها بدون static صورت گرفته، از این نوعاند. برای مثال:

```
int i;
extern const int i2;
void f();

int main() {
    //…
}
```

به طور خلاصه با واژه‌ی static و extern میتوان اتصال را به طور خاص تغییر داد. اتصال پیش فرض برای اسمهای غیر const، extern و برای const، static است. یک متغیر و تابع معمولی در برنامه به تعداد دلخواه میتواند اعلان شود ولی تعریف آنها فقط یکبار میتواند نوشته شود[1]. برای مثال:

```
int f();
int f();
int f();
int f(){ return 1; } // ok
```

و:

```
int f(){ return 1; }
int f(){ return 2; } // error
```

در *مثال ۲*، اگر در هِدِر، مستقیم تعریف تابع را مینوشتیم مانند:

```
void f(){
    cout << "f()\n";
}
```

با # include شدن آن در چند فایل، تعریف f() نیز چند بار در برنامه قرار میگیرد و در نتیجه منجر به بروز خطای لینکر میشود. برای مثال:

A.h

[1]. One Definition Rule (ODR)

```
extern const int i = 1;  //error
void f(){   // error
    // …
}
```

با استفاده از واژهی inline در تعریف تابع یا متغیر، امکان تعریف یکسان تابع یا متغیر را در چند واحد ترجمه (TU) ممکن میکند. در نتیجه با قرار دادن تعریف اجزای inline در هِدِر، امکان # include کردن آنها در چند فایل، بدون خطای لینکر، امکان پذیر میشود. برای مثال:

```
A.h
inline void f(){
     // …
}
inline extern const i{1};
```

"extern "C

در خیلی از مواقع نیاز به استفاده از کدهای C در C++ و بالعکس است. این اتصال به آسانی صورت نمیگیرد؛ زیرا برای مثال در C++ (بر خلاف C) امکان سربارگذاری توابع وجود دارد و کمپایلر، بین توابع سربارگذاری شده نمیتواند با اسم تابع - به عنوان یک اسم منحصر به فرد - به توابع دسترسی پیدا کند. در نتیجه کمپایلر نام آنها را با کمپایل تغییر میدهد[1]. برای مثال توابع زیر:

```
void f(int i) {};
void f(bool b) {};
```

به توابع زیر می‌توانند تغییر کنند:

```
void __f_i(int i) {};
void __f_b(bool b) {};
```

همچنین کمپایلرهای مختلف با تغییر نام توابع، لزوماً اسمهای یکسانی تولید نمیکنند.

برای تعیین توابع و متغیرهای C++ (با اتصال خارجی) به طوری که در کدهای C قابل اجرا باشند (تغییر نام توابع صورت نگیرد و ...)، ابتدای اعلان آنها باید واژهی extern

[1]. Name mangling

C"" قرار گیرد. برای مثال:

```
extern "C" void f();
void f() {
   // …
}
```

و یا به صورت زیر اعلان چند جز را میتوان از نوع extern "C" تعیین کرد:

```
extern "C" {
    void f();
    void g();
}
```

برای استفاده از توابع C در C++ نیز اعلان آنها را با extern "C" تعیین شود:

```
extern "C" void c_func(int);

void cpp_func(){
    c_func();
}
```

به همین دلیل برای # include کردن هِدِرهای C (غیر از هِدِرهای C سیستم مثل cstdio، cstring و ...) که کدهای همراه آن با کمپایلر C کمپایل شده، باید دستور # include را در extern "C" قرار داد. برای مثال:

```
extern "C" {
    #include "c_header.h"
}

int main() {
    c_func();
}
```

در این صورت اعلان محتوای c_header.h با extern "C" تعیین میشود. به طور مشابه کل محتوای هِدِر را میتوان در دستورات زیر قرار داد:

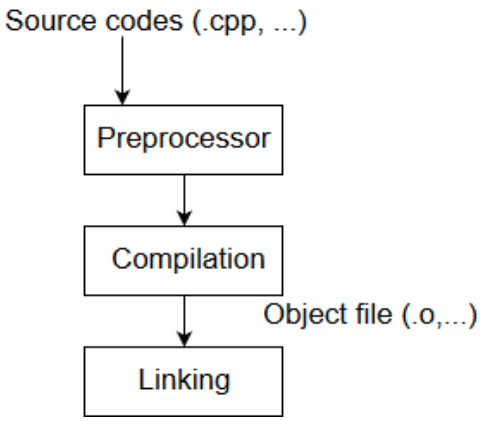
```
#ifdef __cplusplus
```

```
extern "C" {
#endif

// header's content

#ifdef __cplusplus
}
#endif
```

با # include شدن این هِدِر، اعلانهای آن در صورتی از نوع "extern "C تعیین میشوند که برنامه با کمپایلر C++ کمپایل شود (ماکروی __cplusplus در آن تعریف شده باشد) در غیر این صورت اعلان آنها به صورت عادی قرار میگیرد.

کمپایل برنامه های چند فایلی و کتابخانه[1]

کمپایل برنامه های نوشته شده در C++ و تولید خروجی نهایی در چند مرحله انجام می‌شود. همانطور که گفته شد ابتدا دستورات پیشپردازنده (# define، include و ...) در مرحله‌ای به اسم پیشپردازش اجرا و پردازش میشوند. سپس کمپایلر خروجی پیشپردازنده را دریافت و فایلهای شی (object files) تولید میکند. در مرحلهی آخر لینکر با استفاده از فایلهای شی یک خروجی قابل اجرا تولید میکند.



[1]. Library

برای مثال اگر برنامه شامل فایلهای زیر باشد:

```
point.h
#ifndef POINT_H
#define POINT_H
#include <iostream>

class Point {
private:
   double x, y;
public:
   Point(double x, double y);
   Point();
   double get_x() const;
   double get_y() const;
      friend  std::ostream&  operator<<  (std::ostream
&out, const Point &point);
};

#endif // POINT_H

point.cpp
#include "point.h"
#include <iostream>
Point::Point(double x, double y): x(x), y(y) {
}

Point::Point(): Point(0,0) {
}
double Point::get_x() const {
  return x;
}

double Point::get_y() const {
  return y;
}
```

```
std::ostream& operator<< (std::ostream &out, const Point &point) {
   out << "(" << point.x << ","
       << point.y << ")\n";
   return out;
}
```

main.cpp

```
#include <iostream>
#include "point.h"
using namespace std;

int main() {
   Point p1{0,0}, p2{4,6};
   cout << p1 << '\n';
   cout << p2 << '\n';
}
```

برای کمپایل با g++ از دستورات زیر استفاده میشود:

```
g++ -c –o main.o main.cpp
g++ -c –o point.o point.cpp
```

این دستورات فایل‌های شی main.o و line.o تولید میکنند. در g++ گزینهی -c بیانگر ایجاد خروجی فایل شی و –o نیز اسم فایل خروجی را مشخص میکند. سپس با دستور زیر:

```
g++ -o program point.o main.o
```

فایلهای شی به هم لینک داده میشوند و خروجی program تولید میشود. در سیستم عاملهای شبه یونیکس، سپس با دستور زیر برنامهی program اجرا میشود (در دایرکتوریای که program قرار دارد):

```
./program
```

همچنین تولید فایل شی و لینک آنها میتوان در یک دستور و به صورت زیر انجام شود:

```
g++ –o program main.cpp point.cpp
```

در C++ قسمتهایی از برنامه مثل کلاسها و توابع در صورتی که در چند برنامه قابل استفاده باشند، در یک واحدی به اسم کتابخانه قرار میگیرند. که در این صورت مدیریت، تغییر و استفاده از آنها ساده‌تر خواهد شد. تا اینجا از کتابخانهی استاندارد C++ استفاده کردیم که به طور پیش فرض در برنامه قابل استفاده است. در این قسمت به نحوهی ایجاد یک کتابخانهی جدید و استفاده از آن میپردازیم.

کتابخانهها به دو دسته تقسیم میشوند:

۱. static

۲. shared

کتابخانه‌های static فقط هنگام کمپایل قابل لینک و اتصال به برنامهاند. کتابخانه‌های shared - در صورت نیاز - هنگام اجرا به برنامه متصل میشوند. کتابخانه‌ی static باعث وابستگی برنامه به کتابخانه‌های خاصی بر روی سیستم نمی‌شود؛ ولی کتابخانه‌ی shared اگر به دلایلی مثل به روز رسانی، دچار مشکل شود، تمام برنامه‌های وابسته به آن نیز با مشکل مواجه خواهند شد. از نظر حجم، کتابخانه‌ی static حجم برنامه را بالا میبرد ولی shared نخواهد برد.

به طریقه‌ی اتصال کتابخانه‌ی shared در حین اجرا، اتصال دینامیک و کتابخانهی static در حین کمپایل کمپایل، اتصال استاتیک می‌گویند.

کتابخانه‌های shared در لینوکس معمولاً پسوند so، در macOS، dylib و در ویندوز dll دارند. پسوند کتابخانه‌ی static همچنین در لینوکس و macOS، a و در ویندوز lib است.

ساخت کتابخانه‌ی static در لینوکس[1]

در مثال قسمت قبل (point.cpp، main.cpp و point.h)، با دستورات زیر از

[1] توضیحات این بخش با IDE نیز قابل پیادهسازیاند.

point.cpp میتوان یک کتابخانهی static ایجاد کرد.

```
g++ -c –o point.o poin2t.cpp
ar rcs libpoint.a print.o
```

پس از ایجاد کتابخانهی libpoint.a، با دستور زیر به برنامه لینک داده میشود:

```
g++ -o program main.cpp –lpoint
```

با –L میتوان مسیر کتابخانه موجود غیر از مسیر استاندارد را تعیین کرد برای مثال:

```
g++ -o program main.cpp –L/home/iman/lib –lpoint
```

توجه شود در شرایط واقعی چندین فایل شی در کتابخانهی static قرار میگیرند. در اینجا هدف آشنایی اولیه با کتابخانهها است.

اکنون به نحوهی ایجاد کتابخانهی shared میپردازیم. برای این کار نیز از مثال point استفاده می‌کنیم. با دستور زیر شی print.o به یک کتابخانه‌ی shared تبدیل می‌شود:

```
g++ -fPIC -shared print.o -o libpoint.so
```

حال کتابخانه‌ی ایجاد شده میتواند به برنامه لینک داده شود:

```
g++ -o program -lpoint
```

نکته‌ی قابل ذکر این است که جهت استفاده‌ی برنامه از کتابخانه‌ی shared در حین اجرای برنامه، باید مسیر دریافت کردن آن مشخص باشد. به طور پیش فرض کتابخانهها از دایرکتوریهای از قبل تعیین شده - مثل /usr/local/lib - جستوجو و افزوده میشوند. با دستور زیر:

```
export LD_LIBRARY_PATH=/path/
```

جست‌وجو و دریافت کتابخانه از دایرکتوری تعیین شده صورت خواهد گرفت.

برای مشاهدهی کتابخانههای shared متصل به برنامه از دستور ldd مانند زیر میتوان استفاده کرد:

```
ldd ./program
```

خروجی ldd برای برنامه‌ای که شامل کتابخانهی shared بـه اسـم libpoint.so صورت زیر می‌شود:

```
iman@linux-32bi:~/projects/temp> ldd ./a.out
     linux-vdso.so.1 (0x00007ffd3c2af000)
     libsharedprint.so => ./libpoint.so
(0x00007f6346786000)
     libstd++C.so.6 => /usr/lib64/libstd++C.so.6
(0x00007f634645e000)
     libm.so.6 => /lib64/libm.so.6
(0x00007f634615d000)
     libgcc_s.so.1 => /lib64/libgcc_s.so.1
(0x00007f6345f46000)
     libc.so.6 => /lib64/libc.so.6
(0x00007f6345b9e000)
     /lib64/ld-linux-x86-64.so.2 (0x00007f6346989000)
```

فرق dll ویندوز با so در لینوکس این است که در ویندوز، محتوای کتابخانـه بـه طـور پیش فرض خارج از آن قرار نمیگیرد و با دستور:

```
__declspec(dllexport)
```

که قبل از یک داده، تابع یا کلاس قرار میگیرد، باعث صادر (export) شدن آن خارج از کتابخانه خواهد شـد. کتابخـانه‌ی صادر شـده هم از داخـل و هم از خـارج از آن قابـل دسترس است. با دستور زیر:

```
__declspec(dllimport)
```

جز به داخل کتابخانه وارد (import) می‌شود که باعث خواهد شد فقط درون کتابخانـه قابل دسترس شود. با استفاده از دستورات پیشپردازنده‌ی زیر:

```
#ifdef LIBRARY_EXPORTS
#    define DLLEXPORT __declspec(dllexport)
#else
#    define DLLEXPORT __declspec(dllimport)
```

```
#endif
```

و اعلان به صورت زیر:

```
DLLEXPORT int f();
```

از آنجایی که فایل هِدِر هم توسط کاربر و هم توسط کمپایلر استفاده می‌شود میتوان با روش بالا ماکروی LIBRARY_EXPORTS را در کمپایل کتابخانه تعریف کرد که دستور صادر شدن اجزا جایگزین DLLEXPORT می‌شود.

namespace

تقریبا در تمامی مثال‌های این کتاب از عبارت:

```
using namespace std;
```

اســتفاده کردیم. در این بخش بــه namespaceها و نحــوه‌ی ایجاد و اســتفاده از آن‌ها میپردازیم.

با استفاده از namespace می‌توان مجموعه‌ای از دستورات شامل کلاس‌ها، اشیا و توابع را دسته بندی کرد. فرمت تعریف namespace به صورت زیر است:

```
namespace id {
     // classes, objects and functions
}
```

یک namespace به نام id تعریف می‌شود. دسترسی به اعضای namespace با اپراتور :: و همراه با نام namespace صورت میگیرد.

مانند:

```
id::member
```

مثال ۱)

```
#include <iostream>
using namespace std;

namespace np1 {
   int a;
}
namespace np2 {
   int a;
}
int main() {
  np1::a = 4;
  np2::a = 6;
   cout << "a from np1 namespace = " << np1::a << '\
n';
   cout << "a from np2 namesapce = " << np2::a << '\
```

```
n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
a from np1 namespace = 4
a from np2 namesapce = 6
```

توضیح) همانطور که خروجی دیده میشود، دو متغیر با نام‌های یکسان (a) تعریف شد ولی به دلیل آنکه در دو namespace مجزا قرار داشتند، کمپایلر پیغام خطا صادر نکرد.

واژه‌ی using

با استفاده از واژه‌ی using می‌توان عضو یا اعضای یک namesapce را در محدوده‌ای از برنامه معرفی کرد. به این معنا که دسترسی به عضو یا اعضای معرفی شده بدون نیاز به اپراتور ::، امکان پذیر میشود.

با فرمت زیر:

```
using id::member;
```

مثال ۲)

```
#include <iostream>
using namespace std;

namespace np1{
   int a;
}
using np1::a;

int main(){
   a = 4;
   cout << a << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
4
```

همچـــنین تمام اعضـــای یـــک namesapce را می‌تـــوان با اســـتفاده از عبارت using namespace به برنامه معرفی نمود. با فرمت:

```
using namespace id;
```

مثال ۳)

```
#include <iostream>
using namespace std;

namespace np1{
   int a;
   void print_var(){ cout << a << '\n';}
}

using namespace np1;

int main(){
   a = 4;
   print_var();
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
4
```

توجه شود که پس از معرفی عضو (یا اعضا) با واژه‌ی using، همچنان از اپراتور :: همراه با نام namespace برای دسترسی به آن عضو (اعضا) میتوان استفاده کرد. در مثال قبل به جای دستورات زیر:

```
a = 4;
print_var();
```

میتوانستیم از دستورات زیر استفاده کنیم:

```
np1::a = 4;
np1::print_var();
```

در C++ تمام توابع، اشیا و کلاس‌های موجود در کتاب خانه‌ی استاندارد در یک namespace به نام std قرار دارند. در مثال‌های کتاب زمانی که نیاز به اجزای std مثل cout شد، دستور using namespace std; را در برنامه قرار میدادیم تا در هر استفاده از این اعضا، عبارت std:: را قبل از نام آنها ننویسیم. البته معرفی کل یک namespace در برنامه‌های بزرگ توصیه نمیشود؛ زیرا برای مثال اگر یک اسمی در برنامه اعلان شود به طوری که به طور اتفاقی همنام با یکی از عناصر موجود در namespace مثل list و یا map از std، باشد، کمپایلر با خطا مواجه خواهد شد. در این حالت با نوشته نشدن عبارت:

```
using namespace std;
```

این ابهام از بین می‌رود و فقط با std:: به اعضای std دسترسی ایجاد میشود.

الیِس[1] یک namespace

یک namespace می‌تواند الیِس یک namespace دیگر تعریف شود. به این معنی که تمام اعضای namespace دوم در namespace اول نیز قرار خواهند گرفت. با فرمت زیر:

```
namespace np1 // existing namespace
{
     // members
}
namespace np2 = np1;
```

مثال ۴) مثال ساده‌ای از الیِس namespace:

```
#include <iostream>
using namespace std;

namespace np1 {
```

[1] Alias

```
   int a;
}
namespace np2 = np1;
int main() {
   np2::a = 4;
   cout << np2::a << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
4
```

تعریف namespace در namespace

در C++ امکان تعریف یک namespace در یک namespace دیگر وجود دارد که nested namespaces نام دارد. در این نوع namespaceها، namespace داخلی به اعضای namespace بیرونی دسترسی مستقیم دارد ولی برعکس آن صحیح نیست.

مثال:

```
namespace Outer {
   int a = 10;
   namespace Inner {
      int b = 20;
      int function1() {return a;}
   }
   int function2() {return Inner::b;}
}
```

از C++17 به بعد، nested namespace زیر را:

```
namespace A {
   namespace B {
      namespace C {
      }
   }
}
```

به صورت زیر میتوان تعریف کرد:

```
namespace A::B::C {
}
```

inline namespace

اعضای inline namespace در nested namespaceها مانند اعضای namespace بیرونی (برخلاف namespaceهای داخلی) عمل میکنند. برای مثال:

```
#include <iostream>
using namespace std;

namespace A {
   inline namespace B {
      void f() { cout << "string\n"; }
   }
}

int main() {
   A::f(); // string
}
```

inline namespace برای مدیریت نسخههای کتابخانه استفاده میشود. مثلا:

```
namespace X  {
   namespace v10{
      void f() { /* ... */ }
   }
   inline namespace v11 {
      void f() { /* ... */ }
   }
}
```

اگر تابع f() در v11، یک نسخهی جدیدتر از تابع موجود در v10 باشد، با inline قرار گرفتن آن، دستور زیر:

```
X::f();
```

به تابع f() از نسخهی v11 تلقی خواهد کرد. با اضافه شدن نسخهی جدید (مثلا v12) و inline قرار گیری آن، X::f() در این حالت به تابع f() از نسخهی جدیدتر (v12) رجوع خواهد کرد. در صورت نیاز به به تابع f از نسخههای قدیمی، باید اسم namespace همراه با :: به طور مختص نوشته شود. برای مثال:

```
X::v10::f();
X::v11::f();
```

پیشپردازنده[1]

دستورات پیشپردازنده[2] یک سری دستور هستند که توسط پیشپردازنده و پیش از دستورات دیگر در ++C اجرا می‌شوند. این دستورات با علامت هَش (#) شروع می‌شوند و با یک خط جدید (بدون ;) نیز به پایان میرسند. دستور پیشپردازنده‌ای که در تمام مثالهای کتاب استفاده کردیم، دستور `# include` میباشد که در گذشته به عملکرد آن نیز پرداختیم.

دستورات پیشپردازنده شامل ۵ دسته میشوند:

۱. تعریف ماکرو[3]
۲. ساختار شرطی
۳. دستور `# error`
۴. دستور `# line`
۵. افزودن کد منبع با `# include`

تعریف ماکرو

ماکروها در کد منبع واژگانی هستند که در صورت وجود، جایشان با یک جایگزین عوض می‌شود. تعریف ماکرو با دستور پیشپردازنده‌ی `# define` و با فرمت زیر صورت میگیرد:

```
#define macro replacement
```

`macro` نام ماکرو و *`replacement`* مقداری است که در کد منبع جایگزین ماکرو می‌شود.

مثال ۱)

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

[1]. Preprocessor
[2]. Preprocessor directives
[3]. Macro

```
#define name "Iman"
#define age 20
int main() {
   cout << "name = " << name  << " and age = " << age
<< '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
name = Iman and age = 20
```

توضیح) پس از اتمام مرحله‌ی پیش پردازش، مقادیر "Iman" و 20 بـه ترتیب با name و age جایگزین می‌شوند.

مقادیر جایگزینی ماکروها نوع داده‌ی خاصی ندارند و فقط در کد منبـع جایگزین ماکروها می‌شوند. همچنین یک ماکرو میتواند بدون مقدار جایگزینی نیز تعریف شود. برای مثال:

```
#define X
```

در گذشـته، یـک نمونـه از کاربردهای این ماکروها را در گـارد # include مشـاهده کردیم.

ماکروهای با پارامتر

ماکروها را با پارامتر می‌توان تعریف کرد که در این صورت مشابه یک تابع عمـل خواهنـد کرد. این نوع ماکروها، ماکروهای شبه تابع[1] نام دارند. تابع زیر را برای مثال:

```
int square(int a) {
   return a*a;
}
```

با ماکرو می‌تواند به صورت زیر بازنویسی کرد:

```
#define square(a) (a*a).
```

در هنگام کار با توابع ماکرو توجه کنید که اسـتفاده از پرانـتز بـرای تعـیین اولویتها باعث

[1]. Function-like macro

جلوگیری از خطاهای احتمالی میشـود. تـابع ماکرو همچـنین می‌توانـد با ساختار شرطی یک مقدار را جایگزین کند. برای مثال تابع:

```
int max(int a, int b) {
   if(a > b)
      return a;
   else
      return b;
}
```

با ماکروی زیر می‌تواند بازنویسی شود[1]:

```
#define max(a, b) ((a < b) ? (a) : (b))
```

مثال ۲) برنامه‌ای که برای تشخیص بزرگی ۲ مقدار، از *تابع ماکرو* استفاده می‌کند:

```
#include <iostream>
using namespace std;

#define max(a,b) ((a > b) ? (a) : (b))
int main() {
   int a = 3, b = 5;
   cout << "Maximum value is " << max(a,b) << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Maximum value is 5
```

در توابع ماکرو، از ۲ اپراتور # و ## برای مقدار جایگزین آن‌ها می‌توان استفاده کرد. # مقدار رشته‌ای عبارت را جایگزین می‌کند.

برای مثال عبارت:

```
#define str(a) #a
cout << str(Dennis) << '\n';
```

cout را به دستور زیر تبدیل می‌کند:

[1]. اپراتور ?: اپراتور شرطی نام دارد.

```
cout << “Dennis” << '\n';
```

اپراتـور ## ۲ پارامتر اطراف خـود را بـه هم می‌چسباند (۲ عبارت بایـد با فاصـله نوشـته شوند).

برای مثال:

```
#define concat(a,b) a ## b
concat(c, out) << “Dennis\n”;
```

cout را به دستور زیر تبدیل می‌کند:

```
cout << “Dennis\n”;
```

ماکروهای از پیش تعریف شده[1]

بـرای کمپایلرها یکسری ماکروها از پیش تعریـف شـده اسـت. این ماکروها هم شـامل ماکروهای اسـتاندارد و هم غـیر اسـتاندارد میشـود. پرکـاربردترین ماکروهای اسـتاندارد عبارتاند از:

- __DATE__ تاریخ کمپایل را با فرمت MM:DD:YYYY جایگزین می‌کند.
- __TIME__ ساعت کمپایل را با فرمت HH:MM:SS جایگزین می‌کند.
- __FILE__ نام فایل منبعی که در آن نوشته میشود را جایگزین میکند.
- __cplusplus در کمپایلرهای C++ تعریف شده است و مقدار آن برابر با نسخه‌ی استانداردی است که برای کمپایل برنامه اسـتفاده میشـود (201703L بـرای C++17). یکی از کاربردهای این ماکرو بررسی استفاده از دستورات مختلـف، متناسب با اسـتاندارد استفاده شده برای کمپایل است.
- __LINE__ شماره خطی که این ماکرو در آن نوشته شده است را جایگزین می‌کند.

در صورت نیاز به لیست کامل، به رفرنس C++ مراجعه کنید.

برخی از ماکروهای از پیش تعریف شده‌ی غیر استاندارد - که فقط مختص یک سیستم یا بسته‌ی کمپایلاند - جهت آشنایی عبارت اند از:

[1]. Predefined macros

- unix در اکثر سیستم‌های شبه یونیکس،
- BSD در سیستم‌های bsd با کرنل 3.4 به بالا تعریف شده است.

توجه کنید که از دستورات پیشپردازنده‌ها بیش از مواقع ضروری نباید استفاده شود. وجود تعداد زیادی این دستورات، زمان مورد نیاز برای کمپایل را بالا می‌برند و خوانایی کد را نیز کاهش دهند.

دستورات شرطی[1] (#else#، #endif، #if، #ifndef، #ifdef و #elif)

این دستورات یک سری کد را با شرطی خاص به کد منبع میافزایند. دستور # ifdef مخفف if defined است و فرمت آن به صورت زیر است:

```
#ifdef MACRO
// controlled text
#endif
```

که در صورت تعریف ماکروی MACRO، پس از خروج از مرحله‌ی پیش پردازش controlled text را به کد منبع میافزاید. #endif نیز پایان ساختار شرط را در پیشپردارندهها مشخص میکند.

دستور # ifndef مخفف if not defined است و برعکس # ifdef عمل می‌کند: در صورت عدم تعریف ماکرو دستورات را به کد منبع میافزاید.

دستورات # if و # else و # elif می‌توانند یک عبارت ثابت مثل لیترالهای عدد صحیح و یا ماکروی تعریف شده با # define را به عنوان تست شرط بپذیرد. با فرمت زیر:

```
#if value
// …
#elsif another_value
// …
```

[1]. Conditional directives

```
#else
// …
#endif
```

مثال:

```
#if SIZE>200
#undef SIZE
#define SIZE 200
#elif SIZE<50
#undef SIZE
#define SIZE 50
#else
#undef SIZE
#define SIZE 100
#endif
```

دستورات شرطی پیشپردازنده اغلب به ۲ دلیل نوشته می‌شوند:

۱. زمانی که کد منبع برنامه‌ها در سیستمهای مختلف نیازمند خروجیهای متفاوت باشد. مثلاً همانطور که گفته شد یک سری ماکروها در سیستم‌های خاصی تعریف شدهاند؛ در نتیجه با ساختارهای شرطی میتوان تعریف یک ماکرو را بررسی کرد و در صورت تعریف، کدهای مورد نیاز به برنامه افزوده شوند.

۲. با یک کد منبع، دو برنامه‌ی مجزا کمپایل شود. برای مثال در یکی از برنامهها، داده‌های ایجاد شده در یک فرایند - جهت اشکالزدایی - در خروجی چاپ شوند.

دستور #error

کمپایلر رویه‌ی کمپایل را در صورت مشاهده‌ی این دستور متوقف می‌کند. فرمت آن به صورت زیر است:

```
#error optional_massage
```

که optional_message پیام خطای اختیاری است که کمپایلر با متوقف کردن کمپایل در خروجی چاپ می‌کند. نوشتن این پیام اختیاری است. یکی از کاربردهای این

دستور اطمینان از استفاده از کمپایلر C++ است:

```
#ifndef __cplusplus
#error Use ++C Compiler..
#endif
```

در صورت عدم تعریف __cplusplus، اگر کد منبع با کمپایلری غیر از کمپایلر C++ - مثل C - شروع به کمپایل شده، با رسیدن به دستور # error متوقف خواهد شد.

دستور # line

زمانی که کد منبع را کمپایل می‌کنیم اگر یک سری خطا توسط کمپایلر مشاهده شود، کمپایلر نام فایل و شمارهی خطِ خطای یافته شده را در خروجی نمایش می‌دهد. با استفاده از دستور # line می‌توان هم نام فایل و هم شماره‌ی خطِ خطا را تغییر داد. با فرمت زیر:

```
#line lineNumber "FileName"
```

lineNumber شمارهی خطی است که شمارش خطهای کد منبع - از خط بعد از این دستور - با مقدار آن صورت میگیرد. FileName نیز نام فایلی است که به جای نام اصلی فایل چاپ خواهد شد.

مثال ۳) برنامه‌ای که شامل یک فرمان نادرست است و پیغام خطای ناشی از کمپایل آن، با دستور # line تغییر می‌یابد:

```
#line 22 "Calc"
int main(){ // line 22
   5 = 4; // line 23
}
```

قالب تابع

قالب‌ها اساس برنامه نویسی جنریک (عمومی) هستند و این امکان را به برنامه میدهند که به صورت مستقل از نوع داده‌ی خاصی کد نویسی کنیم.

برای مثال اگر بخواهیم یک تابع ساده بنویسیم به طوری که ۲ آرگومان از نوع int بگیرد و جمع آن‌ها را برگرداند باید تابعی مشابه زیر تعریف کنیم:

```
int sum(int a, int b){
   return a+b;
}
```

حال فرض کنید بخواهیم این تابع مقادیر double بگیرد و جمع آن‌ها را نیز از نوع double برگرداند. برای این کار، تابع باید به صورت زیر سربارگذاری شود:

```
double sum(double a, double b){
   return a+b;
}
```

و همچنین در صورت نیاز برای پارامترهای std::string (یا هر نوع دادهی دیگر) نیز یک تابع باید ایجاد و در موقعیت مناسب فراخوانی شود. برای جلوگیری از این کار در C++ قالب‌ها وجود دارند.

قالب تابع بلوکی مانند تابع است که میتواند در پارامتر خود انواع داده‌های عمومی[1] داشته باشد؛ به این معنا که هنگام فراخوانی این انواع دادهها بر اساس نوع آرگومانها به نوع دادهی مناسب تبدیل می‌شوند. ایده‌ی کلی استفاده از قالبها ایجاد توابع عمومی بدون استفاده از نوع داده‌ی خاصی برای همه یا بعضی از پارامترها، مقادیر تعریف شده در بدنه و یا نوع بازگشتی تابع است.

فرمت تعریف قالب تابع به صورت زیر است:

```
template <class T> returnType f() {
//…
}
```

[1]. Generic types

یا:

```
template <typename T> returnType f() {
//…
}
```

در بالا T یـک پارامتر قـالب اسـت کـه می‌توانـد جایگزین انـواع داده‌های مختلـف شـود. tfunc نیز نام قالب تـابع اسـت. واژهی class با typename معـنی یکسان دارد؛ از نظر تاریخی در نسخههای اولی C++ برای عدم معرفی واژه جدید (در نتیجـه زیاد نشـدن واژههای ازپیش تعریف شده) فقط واژهی class در قالبها وجـود داشـت. کمیتهی C++ بـــرای رفـــع ابهام بین واژهی class در قالبها و کلاســـها، علاوه بـــر class واژهی typename را نیز اضافه کرد.

مثالی از اعلان قالب تابع:

```
template <typename T> void f(T x){
   //…
}
```

در اینجا T پارامتر قالب و f قالب تابع است. فرض کنیم قالب تابع f دو بار به صورت زیر فراخوانی شود:

```
f ('c'); // c is a char variable
f (5.3); // 5.2 is a float variable
```

در اولین فراخوانی پارامتر قالب T به نوع دادهی char و در دومین فراخوانی به float تبدیل می‌شود. انواع دادههای که جایگزین پارامتر قالب می‌شوند آرگومان قالب نـام دارد. درمثال بالا float و char آرگومان‌های قالب هستند.

قالب تابع به این علت قالب نام دارند که مانند یک قالب عمل می‌کنند؛ به این معـنی کـه بسته به نوع فراخوانی، تابع مناسب برای نوع آرگومان‌ها تولید میکند.

پارامتر قالب معمولاً با یک حرف بزرگ نام گذاری می‌شود. مثل T1، T2 و ... .

مثال ۱)

```
#include <iostream>
using namespace std;
template<typename T> void printExpr(const T& x){
   cout << x << '\n';
}

int main(){
   int a = 4;
   char c = 's';
   printExpr(a);
   printExpr(c);
   printExpr(10);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
4
s
10
```

قالب تابع با بیش از یک پارامتر قالب

برای تعریف قالب تابع با بیش از یک پارامتر باید، در هنگـام تعریـف، پارامترهای قـالب را تفکیک شده با کاما نوشت. با فرمت زیر:

```
template <typename T1, typename T2, ...> func;
```

مثال ۲)

```
#include <iostream>
using namespace std;

template <typename T1, typename T2>
void printVars(T1 a, T2 b){
     cout << a << '\n';
     cout << b << '\n';
}
int main(){
```

```
    int a = 4;
    char b = 'C';
    printVars(a,b);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
4
C
```

در قالب تابع، لازم نیست همه‌ی پارامترهای تابع از نوع پارامتر قالب باشند. پارامترها می‌توانند از انواع دیگر مانند int و ... نیز قرار گیرند.

مثال ۳) برنامه‌ای که شامل یک قالب تابع به نام printNTimes است و دو آرگومان می‌گیرد و آرگومان اول را به تعداد آرگومان دوم نمایش می‌دهد:

```
#include <iostream>
using namespace std;

template <typename T>
void printNTimes(const T &x, int n){
   for(int i = 0; i < n; ++i) {
      cout << i << ". " << x << '\n';
   }
}

int main(){
   printNTimes("string",3);
   printNTimes(3,2);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
0. string
1. string
2. string
1. 3
2. 3
```

سربارگذاری قالب تابع

قالبهای توابع، توابع عادی را میتوانند سربارگذاری کنند. در این صورت اگر فراخوانی تابع عادی قابل اجرا باشد، اجرای آن نسبت به قالب تابع اولویت مییابد.

مثال ۴)

```
#include <iostream>
using namespace std;

template <typename T> void f(T x){
   cout << "template.\n";
   cout << x << '\n';
}
void f(int x){
   cout << "nontemplate.\n";
   cout << x << '\n';
}

int main(){
   f(4);
   f(1.5);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
nontemplate.
4
template.
1.5
```

با سربارگذاری قالبهای توابع با توابع عادی میتوان تعریف قالب تابع را برای یک یا چند نوع خاص مجزا کرد. برای مثال:

```
template <typename T> void print(const T &x) {
    cout << x << '\n';
}
```

```
void print(bool x){
    cout << boolalpha << x << '\n';
}

print(3);       // 3
print(false);   // false
```

نتیجهگیری[1] انواع در قالبها

زمانی که قالب تابع فراخوانی میشود برنامه سعی بـه تعـیین انـواع قـالب میکنـد. بـه این تعیین نوع، نتیجهگیری نوع داده گفته میشود. در یک مثال ساده با دستورات زیر:

```
template<typename T>
void f(T x) {
// ...
}

int v = 10;
f(v)
```

نوع T به int، نتیجهگیری میشود. در صـورتی کـه پارامتر رفرنس نباشـد (ماننـد مثـال بالا)، اگر نوع آرگومان رفرنس باشد، ابتدا قسمت رفرنس نـوعش نادیـده گرفتـه میشـود؛ سپس اگر عبارت const بود، const بودن آن نیز نادیده گرفتـه میشـود. در این نـوع قالب تابع، دریافت آرگومان به منظور کپی آنها نوشته شده به همین دلیل نـیز پارامتر آن از نوع const تعیین نمیشود.

برای مثال:

```
template<typename T>
void f(T param){}

int x = 5;
const int constx = x;
const int& refx = x;
```

[1]. Deduction

```
f(x) // T = int
f(constx); // T = int
f(refx);  // T = int
```

در حالت دوم اگر پارامتر یک رفرنس باشد، مانند:

```
template<typename T> void f(T& x);
```

قسمت رفرنس آرگومان حذف میشود سپس نوع دادهی T در پارامتر به صورت نظیر به نظیر تعیین میشود.

برای مثال:

```
template<typename T> void f(T& x){}

int x = 5;
const int constx = x;
const int& refx = x;

f(x) // T = int
f(constx); // T = const int
f(refx);  // T = const int
```

در حالت آخر اگر رفرنس rvalue (&&) در قالب تابع نوشته شود، نوعی به اسم **رفرنس ارسالی**[1] ایجاد میشود. برای مثال:

```
template <typename T> void f(T&& x){}
```

نتیجهگیری در این نوع رفرنس به گونهای است که اگر آرگومان پاس داده شده lvalue باشد، آرگومان قالب از نوع رفرنس lvalue قرار میگیرد؛ در غیر این صورت نتیجهگیری عادی صورت خواهد گرفت. برای مثال:

```
template <typename T> void f(T&& x){}
int i;
f(i); // f<int&>(int& &&)
f(0); // f<int>(int&&)
```

[1]. Forwarding reference

در دستورات بالا در اولین فراخوانی با تعیین T بـه &int، در پارامتر f همانطور کـه در توضیحات مقابلش نوشـته شـده، ایجاد نـوع رفرنس بـه رفرنس میشـود. در C++، امکـان تعریف رفرنس به رفرنس وجود ندارد و با نوشـته شـدن چـنین عبارتی مسـتقیماً توسـط برنامه نویس، ایجاد خطا میشود. با این وجود در مکانهایی مثل نتیجهگیری بالا که عبارت رفرنس به رفرنس ایجاد میشـود، کمپایلر با روش زیـر رفرنس بـه رفرنس را در نهایت بـه یک رفرنس تبدیل میکند (TR نوع رفرنس به T است):

TR	R		
T&	&	->	T&
T&	&&	->	T&
T&&	&	->	T&
T&&	&&	->	T&&

این عملکرد حذف شدن رفرنس[1] نام دارد. به این ترتیب در فراخوانی:

```
f(i); // f<int&>(int& &&) -> f<int&>(int&)
```

عبارت && &int به &int تبدیل میشود. عملکرد رفرنس ارسالی به این ترتیب، به نحوی است که اگر عبارت lvalue به قالب تابع پاس داده شـود، پارامتر از نـوع رفرنس lvalue، در غیر این صورت از نـوع رفرنس rvalue تعـیین می‌شـود. کـاربرد اصـلی رفرنس ارسالی در پاسدادن آرگومانهای دریافت شده به توابـع دیگر اسـت. با تعریفی کـه تاکنون از قالب تابع با رفرنس ارسالی داریم، با وجـود اینکـه هم میتـوان rvalue و هم lvalue به آن پاس داد، پارمتر یک عبارت lvalue است؛ در نتیجـه بـه عنـوان یـک عبارت lvalue نیز بـه توابـع دیگر پاس داده میشـود. در این تـابع بـرای حفـظ کردن lvalue یا rvalue بودن آرگومان، میتوان پارامتر به صـورت زیـر بـه &&T کَسـت کرد. برای مثال:

```
void f1(int& x){
    cout << "x refers to lvalue\n";
}
```

[1]. Reference collapsing

```
void f1(int&& x){
    cout << "x refers to rvalue\n";
}

template<typename T> void f2(T&& x){
    f1(static_cast<T&&>(x));
}

int x{1};
f2(x); // x refers to lvalue
f2(1); // x refers to rvalue
```

نحوهی حفظ شدن نوع آرگومان با کَست کردن به &&T به گونهای است که اگر مقدار lvalue به قالب تابع پاس داده شود، نوع T به &A تبدیل میشود و با کَست کردن به &&T، همان نوع باقی میماند (&A && به &A، تبدیل میشود)؛ اگر آرگومان پاس دادهشده rvalue باشد نوع T به A تبدیل میشود و با کَست کردن به &&T، به &&A تبدیل میشود که به نوع اصلی خود برمیگردد. به عمل دریافت آرگومان(ها) و استفاده از آن برای فراخوانی یک تابع دیگر، با حفظ ماندن نوعشان (rvalue یا lvalue بودن/ const بودن)، **ارسال کامل**[1] گفته میشود. اکنون که با نحوهی ارسال کامل با کَست کردن به &&T آشنا شدیم، به بررسی std::forward میپرداریم. این قالب تابع، در هِدِر <utility> قرار دارد و کَست کردن به &&T را با syntax کوتاهتر انجام میدهد. برای مثال دو دستور زیر در قالب تابعی که رفرنس ارسالی دریافت میکند برابراند:

```
f1(static_cast<T&&>(x));
f1(std::forward<T>(x));
```

(آرگومان قالب std::forward، به جای &&T، خود T است). در مثال زیر، ارسال کامل را با std::forward در یک برنامه مشاهده میکنیم.

[1]. Perfect forward

مثال ۵)

```
#include <iostream>
#include <utility>
using namespace std;

void f1(int& x){
   cout << "x refers to lvalue\n";
}

void f1(int&& x){
   cout << "x refers to rvalue\n";
}

template<typename T> void f2(T&& x){
   f1(forward<T>(x));
}

int main() {
   int x = 1;
   f2(x);
   f2(1);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
x refers to lvalue
x refers to rvalue
```

لازم به ذکر است که نتیجهگیری در auto نیز به روش نتیجهگیری در قالب‌ها صورت می‌گیرد با این تفاوت که در دستور زیر:

```
auto x1 = 10;
```

x1 از نوع int تعریف میشود و در دستور زیر:

```
auto x2 = {10};
```

x2 از نوع std::initializer_list<int> با یک عنصر ۱۰ اعلان خواهد

شد.

در قالبهای توابع با وجود بعضی از شرایط، نتیجهگیری پارامترها به طـور خودکـار امکـان پذیر نیست. برای مثال:

```
template<typename T> void f(){
  T x = 10;
  cout << x << '\n';
}
f(); // error
```

در این نوع قالبها، به صورت زیر میتوان نوع پارامترهای قـالب را بـه طـور مختص تعـیین کرد:

```
func < argument-list > ( parameter-list ) ;
```

برای مثال:

```
template<typename T> void f(){
  T x = 10;
  cout << x << '\n';
}
f<int>();
```

در قالبهایی که نتیجهگیری صورت میگیرد نیز از این روش برای مقداردهی پارامتر(های) قالب میتوان استفاده کرد. مثال:

```
template<typename T> void f(T x){
    cout << x << '\n';
}

f<double>(10);
```

در این مثال با فراخوانی عادی f، مثـل f(10) نـوع T بـه int تبـدیل میشـود کـه با تعیین آن به صورت double، از این نوع نتیجهگیری جلوگیری میشود. در مثـالی دیگر اگر به قالب تابع f، رشته به صورت لیترال پاس داده شود (مثل f("aaa")) نوع T بـه char* const تبدیل میشود؛ در این حالت نیز برای تعیین T به std::string،

میتوان به صورت زیر عمل کرد:

```
f<std::string>("aaa");
```

پارامتر غیر نوع و قالب قالب

پارامترهای قالب علاوه بر نوع داده بودن، به صورت **غیر نوع**[1] و یا **قالب قالب**[2] نیز میتوانند باشند. پارامتر غیر نوع به جای نوع داده، بیانگر مقدار است. این پارامترها، با نوشته شدن نوع دادهی خاص (مثل int و ...) در پارامتر قالب تعیین میشوند. مقادیری که با این نوع پارامترها جایگزین میشوند باید از نوع ثابت باشند و کمپایلر نیز این قالبها را را در حین کمپایل مقداردهی میکند. مثال زیر برنامهای است که از پارامترهای غیر نوع استفاده میکند.

مثال ۶)

```
#include <iostream>
using namespace std;

template<int n, typename T>
void printNTimes(const T& x){
    for(int i = 0; i < n; ++i)
        cout << x << ' ';
    cout << '\n';
}

int main() {
    printNTimes<5,int>(1);
    printNTimes<5>(2);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
1 1 1 1 1
2 2 2 2 2
```

[1]. Non-type template parameters.
[2]. Template template parameters.

توضیح) در اولین فراخوانی، همهی پارامترهای قالب مشخص و در فراخوانی دوم از آرگومان پاس داده شده (۲) به نوع T در برنامه نتیجهگیری میشود. اگر در این مثال قالب تابع printNTimes را مانند گذشته مینوشتیم (که مقدار n به عنوان پارامتر تابع دریافت میشد) خروجی مشابهی به وجود میآمد؛ با این تفاوت که چون پارامترهای غیر نوع در حین کمپایل ارزیابی میشوند، در مکانهایی که نیاز به این نوع ارزیابی است (مانند تعیین عناصر آرایه) مورد استفاده قرار میگیرند.

در C++17، نوع پارامترهای غیر نوع میتواند با auto نیز تعیین شوند. مثال:

```
template<auto n> void f() {
    //...
};
f<10>();
```

قالب کلاس و متغیر

قالب کلاس[1]

قالب کلاس جز دیگر قالبهاست که امکان ایجاد مجموعهای از انواع داده را فراهم میکند. فرمت تعریف قالب کلاس و اعلان شی از آن به صورت زیر است:

```
template <class type> class A{

};
A <DataType> objName;
```

نوع قالب کلاس، برخلاف قالب تابع، باید با ساخت شی و به صورت مختص تعیین شود. در C++17 با مقداردهی اولیهی شی نیز این کار امکان پذیر است.

مثال ۱) برنامه‌ای که شامل یک قالب کلاس است و در سازنده خود دو مقدار را گرفته و با آن‌ها دو متغیر عضو کلاس را مقداردهی می‌کند. همچنین یک تابع به نام printMax برای نمایش بزرگترین مقدار شی وجود دارد:

```
#include <iostream>
using namespace std;

template <class T> class MyClass{
private:
   T a, b;
public:
   MyClass(T a, T b): a{a}, b{b} {}
   void printMax(){
      cout << (a>b?a:b) << '\n';
   }
};

int main(){
   MyClass<int> m{3,7};
   m.printMax();
```

[1]. Class template

```
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
7
```

تعریف تابع عضوِ قالب کلاس - مانند تابع عضو عادی - خارج از کلاس امکان‌پـذیر اسـت.

با فرمت زیر:

```
template <parameter-list> class id{
public:
       returnType function();
}

template <parameter-list> returnType
class<T>::function (){
   //…
}
```

قالب کلاس مانند قالب تابع، می‌تواند چند پارامتر قالب داشته باشد.

به صورت زیر:

```
template <typename T1, typename T2, ...> class
MyClass{};
```

مثال ۲)

```
#include <iostream>
using namespace std;

template<typename T1, typename T2> class MyClass{
private:
   T1 a;
   T2 b;
public:
   MyClass(T1 a, T2 b):a{a}, b{b} { }
   void print(){
      cout << "a = " << a << '\n';
      cout << "b = " << b << '\n';
```

```
   }
};

int main(){
   MyClass<int, char> m{1,'c'};
   m.print();
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
a = 1
b = c
```

در قالبهای کلاس می‌توان انواع دادههای پیش فرض را با = در لیست پارامتر قالب برای یک سری از آنها تعریف کرد. با عدم تعیین آرگومان(های) قالب، این آرگومانهای پیش فرض در نظر گرفته می‌شوند.

مثال ۳)

```
template<typename T1 = int, typename T2 = char>
class MyClass {
private:
   T1 a;
   T2 b;
public:
   MyClass(T1 a, T2 b): a{a}, b{b} { }
   void print(){
      cout << "a = " << a << '\n';
      cout << "b = " << b << '\n';
   }
};

MyClass<> m(1,'c');
MyClass<int, float> m2(4,3.5);
m.print();
m2.print();
```

خروجی زیر را به همراه خواهد داشت:

```
a = 1
b = c
a = 4
b = 3.5
```

در مثال بالا برای ساخت شـی P0، آرگومان قـالب را ننوشـتیم و کمپایلر بـه طـور پیش فرض بـه ترتیب int و char را بـرای پارامترها قرار داد. اگر یـک پارامتر پیش فرض تعیین شود، تمام پارمترهای بعد از آن (در لیست قالب) نیز بایـد از نـوع پیش فرض قرار گیرند.

اختصاصی کردن قالب کلاس[1]

تعریف قالب کلاس، مانند قالب تابع، به ازای نوع(های) داده‌ی خاصی می‌تواند مجزا شود. قالب کلاس تخصصی شده از نظر اسم با قالب کلاس هم نام است. همچنین قـالب کلاس اختصاصی شده به عنوان یک کلاس مجزا در برنامه شناخته میشـود، بـه این معـنی کـه میتواند اعضای متفاوتی داشته باشد.

با فرمت زیر:

```
template <typename T> class MyClass{};
template <> MyClass<specialDataType>{};
```

مثال ۴) برنامه‌ای که شامل قالب کلاس تخصصی است:

```
#include <iostream>
using namespace std;

template <typename T>
class MyClass{
private:
   T a;
public:
   MyClass(char a): a{a}{
      cout << "obj constructed for generic types\n";
```

[1]. Class template specialization

```
   }
};

template <> class
MyClass<char>{
private:
   char a;
public:
   MyClass(char x): a{x}{
      cout << "obj constructed for char\n";
   }
   void print_from_char(){
         cout << "printing from specialized obj for
char\n";
   }
};

int main() {
   MyClass<int> m{2};
   MyClass<char> m2{'x'};
   m2.print_from_char();
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
obj constructed for generic types
obj constructed for char
printing from specialized obj for char
```

علاوه بر امکان تخصصی کردن تمام پارامترهای قالب کلاس (مثل قالب تابع)، میتواند قسمتی از پارامترهای قالب کلاس را فقط اختصاصی کرد[1]. با ساختاری مشابه زیر:

```
template<typename T1, typename T2, int I>
class MyClass {};            // primary template

template<typename T, typename T2, int I>
class MyClass<T*, T2, I> {}; // partial
```

[1]. Partial template specialization

specialization: when T1 is ptr

مثال ۵)

```
#include <iostream>
using namespace std;

template<class T1, class T2 >
class MyClass { // primary template
public:
   MyClass(){
      cout << "generic MyClass object created.\n";
   }
};

template<class T>
class MyClass<T, bool> { // partialy specialized
public:
   MyClass(){
      cout << "2nd argument is bool.\n";
   }
};

template<class T>
class MyClass<T, T*> { // partialy specialized
public:
   MyClass(){
       cout << "2nd argument is pointer of 1st arg.\
n";
   }
};

int main() {
   MyClass<int,int> m;
   MyClass<int,bool> m2;
   MyClass<int,int*> m3;
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
generic MyClass object created.
2nd argument is bool.
2nd argument is pointer of 1st arg.
```

هنگام تعریف عضو خارج از کلاس اختصاصی شده، قسمت template<>نوشته نمیشود:

```
template<typename T>
class MyClass {

};

template<>
class MyClass<int> {
public:
    void f();
};

void MyClass<int>::f() {
    // body
}
```

به طور کلی اعضای یک کلاس (شامل struct و ...) را - جدا از قالب بودن خود کلاس (struct) – میتوان به صورت قالب تعریف کرد. برای مثال:

```
class MyClass{
public:
    template<typename T> void f(T x){
        // …
    }
};
```

مخرب و سازندهی کپی را نمیتوان به صورت قالب تابع اعلان کرد. قالب اعضای تابع نمی‌توانند virtual باشد و همچنین نمیتواند توابع کلاس پایهی خود را، زمانی که virtualاند را نادیده بگیرند (override). اگر یک تابع عضو قالب و یک تابع عادی

در یک کلاس موجود و با فراخوانی آنها هردو قابل اجرا باشند، برنامه تابع عضو غیر قالب را فراخوانی میکند مگر در حالتی که لیست آرگومانهای قالب در حین فراخوانی نوشته شود. برای تعریف قالب عضوها خارج از کلاس، باید دو بار قسمت template را نوشت (یکی برای کلاس و دیگری برای عضو). برای مثال:

```
template<typename T>
class MyClass {
    template<typename T2> void f(T2 a);
};

template<typename T>
template<typename T2>
void MyClass<T>::f(T2 a) {
    //...
}
```

قالب متغیر[1]

از C++14 به بعد، امکان تعریف قالب متغیر نیز وجود دارد.

مثال ۶)

```
#include <iostream>
using namespace std;

template<typename T> T pi = T(3.141592);

int main() {
   cout << pi<float> << '\t' << pi<int> << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
3.14159   3
```

[1]. Variable template

قبل از C++14، پیادهسازی قالب متغیر با قرار دادن یک متغیر عضو static در قالب کلاس یا struct صورت میگرفت. این نوع پیادهسازی علاوه بر طولانی بودن تعریف آن، استفاده از آن نیز syntax طولانیتری دارد. برای مثال اگر قالب متغیر pi در مثال ۶ با قالب کلاس ایجاد شود، دسترسی به آن به صورت زیر انجام میشود:

```
pi<double>::value
```

ولی با قالب متغیر به شکل زیر صورت میگیرد:

```
pi<double>
```

اعلان alias

همانطور که در فصول پیش پرداخته شد با typedef میتوان نام جدیدی را برای نوع دادهی موجود اعلان کرد. برای مثال بهجای استفاده از نوع دادهی زیر:

```
std::vector<std::vector<std::vector<double>>>
```

در برنامه، با typedef میتوان نام جدیدی برای نوع داده به صورت زیر ایجاد کرد:

```
typedef std::vector<std::vector<std::vector<double>>>
vec3d_double;
```

در نتیجه نوع دادهی طولانی فقط یک بار نوشته میشود.

در استانداردهای جدید، برای تعریف نام جدید برای نوع دادهی موجود، از واژهی using نیز میتوان استفاد کرد. به صورت:

```
using aliasType = existingType;
```

پس دو دستور زیر در استانداردهای جدید برابرند:

```
typedef std::vector<std::vector<std::vector<double>>>
vec3d_double;

using vec3d_double =
std::vector<std::vector<std::vector<double>>>;
```

فرق اصلی استفاده از typedef با اعلان alias امکان ایجاد *قالب* از اعلان alias

است (اصطلاحا قالب alias). برای مثال:

```
template <typename T>
using vec3d =
std::vector<std::vector<std::vector<double>>>;;

vec3d<double> v;
vec3d<int> v2;
```

SFINAE و enable_if

اگر یک قالب تابع و یک تابع معمولی هر دو با نام add داشته باشیم:

```
int add(int x1, int x2) {
    return x1 + x2;
}

template <typename T>
typename T::add_return_type add(T x1, T x2) {
  return x1 * x2;
}
```

با فراخوانی add با دستور:

```
add(4,10);
```

تابع معمولی با نوع بازگشتی int فراخوانی میشود؛ زیرا در قالب تابع با پاس دادن ۴ و ۱۰ و تعیین شدن T از نوع int، نوع بازگشتی قالب (int::add_return_type) تعریف نشده است و برنامه (بدون ایجاد خطا) تابع معمولی را فراخوانی میکند. در قالب تابع به طور کلی اگر جایگذاری نوع نتیجهگیری شده برای قالب (و نوع بازگشتی آن) صحیح نباشد قالب به ازای آن نوع از لیست توابع قابل اجرا، بدون خطا، حذف میشود؛ این عملکرد SFINAE[1] نام دارد. با وجود اینکه SFINAE یک عملکرد کمپایلر است، معمولاً از آن به عنوان یک قابلیت C++ استفاده میشود. یکی از مهمترین کاربردهای

[1]. Substitution Failure Is Not An Error

SFINAE تابع std::enable_if موجود در هِدِر type_traits است. این قالب تابع تعریف مشابه زیر دارد:

```
template<bool B, typename T = void>
struct enable_if {
};

template<typename T>
struct enable_if<true, T> {
    typedef T type;
};
```

و میتوان به صورت زیر در قالب تابعها استفاده شود:

```
template <typename T, typename U>
typename enable_if<is_integral<T>::value &&
is_integral<U>::value, T>::type
add(T x1, U x2) {
    cout << "returning ints\n";
    return x1 + x2;
}

add(1,2);
```

در این قالب تابع با پاس دادن دو مقدار غیر اعشار مثل ۱ و ۲، شی از تعریف دوم enable_if استفاده میکند و درنتیجه عضو type، از نوع آرگومان اول ایجاد میشود. با صحیح بودن شرط enable_if (عددی بودن آرگومانها) و جایگذاری نوع آرگومان اول، قالب تابع صحیح خواهد بود در نتیجه به ازای مقادیر عددی اجرا خواهد شد.

در C++14 به بعد نوع enable_if_t نیز با alias زیر تعریف شده است:

```
template <bool B, typename T = void>
using enable_if_t = typename enable_if<B, T>::type;
```

در نتیجه قالب تابع add برای آرگومانهای int میتواند به صورت زیر نوشته شود:

```
template <typename T, typename U>
enable_if_t<is_integral<T>::value &&
```

```
is_integral<U>::value, T>
add(T x1, U x2) {
    cout << "returning ints\n";
    return x1 + x2;
}
```

عملکرد enable_if_t را در یک برنامه نیز بررسی میکنیم.

مثال ۷)

```
#include <iostream>
#include <type_traits>
using namespace std;


template <typename T, typename U>
enable_if_t<is_integral<T>::value &&
is_integral<U>::value, T>
add(T x1, U x2) {
    cout << "returning int.\n";
    return x1 + x2;
}

template <typename T, typename U>
enable_if_t<is_floating_point<T>::value &&
is_floating_point<U>::value, T>
add(T x1, U x2) {
    cout << "returning float.\n";
    return x1 + x2;
}

int main(){
   add(5,10);
   add(1.1,3.3);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
returning int.
```

```
returning float.
```

قالب variadic

قالب variadic قالب تابع یا کلاسی است که تعداد داخواهی از آرگومان دریافت میکند. تعریف یک قالب تابع variadic به صورت زیر است:

```
template <typename... Args>
void f(Args... args) {
}
```

در تعریف قالب تابع f، قسمت Args بستهی پارامتر قالب[1] و args بستهی پارامتر[2] تابع نام دارد که به معنی مجموعهای از پارامترها است (نامهای Args و args اختیاریاند). در قالب تابع variadic جهت استفاده از بستهی پارامتر تابع، از ساختارهای حلقه مثل for نمیتوان استفاده کرد؛ بلکه با ساختار بازگشتی باید تفکیک و استفاده شوند. برای مثال:

```
template<typename T>
T sum(T t) {
  return t;
}

template <typename T, typename... Args>
T sum(T t, Args... args) {
  return t + sum(args...);
}
```

این قالب تابع جهت جمع کردن تعداد دلخواهی از آرگومانها استفاده میشود. برای مثال:

```
sum(4,3,5,6,7); // 25

string s1 = “aa”, s2 = “bb”;
sum(s1,s2); // aabb
```

اجرای قالب تابع sum به گونهای است که با عبارت sum(args…)، قالب sum با یک

[1]. Template parameter pack
[2]. Function parameter pack

پارامتر کمتر از قبل اجرا میشود. زمانی که فقط یک پارامتر باقی مانـد، قـالب تـابع sum اول (با یک پارامتر) اجرا میشود؛ کـه نقش حالت پایـه (base case) در بازگشـتی را دارد. برای مثال برای فراخوانی زیر:

```
sum(1,2,3,4);
```

قالبها به صورت زیر اجرا میشوند:

```
T sum(T, Args ...) [with T = int; Args = {int, int,
int}]
T sum(T, Args ...) [with T = int; Args = {int, int}]
T sum(T, Args ...) [with T = int; Args = {int}]
T sum(T) [with T = int]
```

std::array، std::vector و std::map

stl[1] قسمتی از کتابخانه ی استاندارد است که با قالب ها نوشته شده است. stl شامل کامپومنتهایی بـه اسـم الگـوریتم، کـانتینر (container)، فـانکتور (functor) و ایتریتور (iterator) است. قسمت کانتینر این کتابخانه شـامل انـواع دادههایی بـرای ذخـیرهی مجموعهـای از عناصر میباشـد. ابتـدا با نـوع دادهی پرکـاربرد آن، std::vector آشنا میشویم.

std::vector

شی std::vector مانند آرایه، متغیری برای ذخـیرهی مجمـوعهای از عناصر از یـک نوع داده است؛ با این تفاوت که سایز اشیای vector برخلاف آرایه میتواند هنگام اجـرا تغییر کنـد. با اپراتورهای سربارگذاری شـده در vector، دسترسـی و اعمال دیگر روی عناصر تقریبا مشابه آرایه صورت میگیرد. از نظر سرعت شی vector مقداری کنـدتر از آرایه است.

بعد از اضافه کردن هِدِر <vector> فرمت تعریف متغیر از vector بـه صـورت زیـر است:

```
vector <dataType> v;
```

dataType نوع دادهی عناصر و v متغیر vector است.

برای افزودن عنصر به vector تـابع عضـو push_back(*expr*) موجـود اسـت کـه مقدار expr را به انتهای vector میافزاید. برای مثال دستورات زیر:

```
vector <int> a;
a.push_back(10); // a = {10}
a.push_back(20); // a = {10, 20}
```

یـک شـی vector از نـوع int ایجاد میکننـد و طی اجـرا، ۲ عنصر را بـه انتهای آن میافزایند.

[1]. Standard Template Library

بـرای حـذف عنصر از vector از تـابع عضـو pop_back() میتـوان اسـتفاده کرد. با فراخوانی این تابع عضو، آخرین عنصر متغیر حذف میشود.

در استانداردهای جدید C++ با استفاده از {} می‌توان شی vector را مقداردهی کرد. مقادیر درون {} با std::initializer_list توسط vector دریافت میشوند. برای مثال دستور زیر:

```
vector <int> v{1,3,45,213};
```

یک شی vector از نوع int با عناصر 1، 3 و ... ایجاد میکند.

مثال ۱)

```
#include <iostream>
#include <vector>
using namespace std;

int main() {
   vector <int> v = {2, 4 ,3 ,3};
   for(int i = 0; i < v.size(); ++i) {
      cout << v[i] << '\t';
   }
   cout << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
2    4    3    3
```

توضـیح) تـابع عضـو size()، تعـداد عناصر vector را برمیگردانـد. با اپراتـور سربارگذاری شدهی []، مانند آرایه به عناصر vector دسترسی پیـدا میشـود و مقـدار آنها نمایش مییابنـد. توجـه شـود نـوع مقـدار بازگشـتی size() از نـوع std::vector<T>::size_type است که میتواند لزوماً int (یا unsigned) نباشد. در نتیجه ممکن است مقدار قابل ذخیره در i (از نوع int) کمـتر از سایز متغـیر

vector باشد. روش صحیحتر ایجاد حلقه در متغیر v به صورت زیر است:

```
for(vector<int>::size_type i = 0; i < v.size(); ++i)
{
   cout << v[i] << '\t';
}
```

در اکثر سیستمها نوع size_type با size_t یکی است.

مثال ۲) در این مثال نحوهی استفاده از for مبتنی بـر بازه در vectorها نشـان داده شده است.

```
#include <iostream>
#include <vector>
using namespace std;

int main() {
   vector <int> v{2, 4 ,3 ,3};
   v.push_back(24);
   v.push_back(222);
   v.pop_back();
   for(const auto& i : v)
      cout << i << ' ';
   cout << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
2 4 3 3 24
```

مثـال ۳) در این مثـال نحـوهی اسـتفاده از بعضـی از عضـوها و اپراتورهای سربارگذاری شدهی vector را مشاهده میکنیم:

```
#include <iostream>
#include <vector>
using namespace std;

int main() {
   vector<int> v{1,2};
```

```
   vector<int> v2(v); // copy
   if(!v.empty()){
      v.clear();
      cout << "v is now empty.";
   }
   if(v == v2)
      cout << "v == v2 \n";
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
v is not empty.
```

برای اشاره به عنصرهای vector مانند آرایه نمیتوان مستقیم از آدرس عنصرها استفاده کرد. برای این کار از متغیر vector<T>::iterator استفاده میشود. اپراتورهای این نوع، طوری سربارگذاری شده که مانند یک اشارهگر عمل میکند (با ++ به عنصر بعدی، با * به مقدار عنصر و ... دست یافته میشود).

با فراخوانی توابع عضو begin() و end() از متغیر vector نیز به ترتیب اولین و آخرین ایتریتور برمیگردد.

فرمت اعلان ایتریتور برای vector به صورت زیر است:

```
vector<dataType>::iterator it;
```

در ایتریتور مانند اشارهگر، با اضافه کردن عدد n، به عنصر nام از ایتریتور دسترسی ایجاد میشود.

مثال ۴)

```
#include <iostream>
#include <vector>
using namespace std;

int main() {
   vector<int> v{2,4,3,3};
   for(vector<int>::iterator it = v.begin(); it !=
v.end(); ++it) {
```

```
        cout << *it << ' ';
    }
    cout << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
2 4 3 3
```

توضیح) تابع عضو end()، مکان یکی بعد از آخرین عنصر vector را برمیگرداند؛ به همین دلیل در for، تمام عنصرها در خروجی نمایش مییابند.

در *مثال ۲* هنگام استفاده از for مبتنی بر بازه، متغیر i نیز به یک ایتریتور تبدیل می‌شود.

در کانتینرها علاوه بر نوع const_iterator، iterator و reverse_iterator نیز موجوداند. این نوع ایتریتورها به ترتیب برای عدم تغییر مقادیر و برای ایجاد حلقه برعکس در عناصر کانتینر استفاده میشوند. نوع const_reverse_iterator نیز به صورت ترکیبی از آن دو قرار دارد.

در کانتینرها به طور مشابه علاوه بر begin() و end() از توابع عضو rbegin() و rend() برای بازگردانی ایتریتور reverse_iterator و cbegin() و cend() برای دریافت const_iterator و از crbegin() و crend() نیز برای دریافت const_reverse_iterator به اولین و آخر عنصر کانتینر استفاده میشود. برای مثال:

```
vector<int> v{1,2,3,4};
for(auto rit = v.rbegin(); rit != v.rend(); ++rit)
    cout << *rit << ' ';
```

خروجی ۴ ۳ ۲ ۱ را ایجاد میکند.

توابع آزاد std::begin و std::end

همانطور که مشاهده کردیم از **توابع عضو** begin() و end() برای دریافت ایتریتور به

اولین و آخرین عنصر vector و بقیهی کانتینرهای stl میتوان استفاده کرد. به دلیل اینکه این توابع، توابع عضواند، از آنها برای دریافت ایتریتور از آرایههایی معمولی نمیتوان استفاده کرد. نوشتن دستورات زیر در نتیجه صحیح نیست:

```
template<typename T> void f( const T& t ) {
   for(auto it = t.begin(); it != t.end(); ++it){
      // …
   }
}

vector<int> v = {1,2,3,4};
int a[] = {1,2,3,4};

f(v); // ok
f(a); // error
```

برای حل این مشکل و کلی کردن تعریف قالب f، از توابع آزاد std::begin و std::end موجود در هِدِر <iterator> میتوان استفاده کرد. قالب تابع f به صورت زیر میتواند بازنویسی شود:

```
template<typename T> void f(const T& t ) {
    for(auto it = begin(t); it != end(t); ++it){
        // …
    }
}
```

به طور مشابه توابع آزاد std::rend()، std::rbegin()، std::crbegin()، std::cend()، std::cbegin() و std::crend() نیز موجوداند.

برای افزودن یا حذف کردن عنصر از متغیر vector در ایندکس خاص، از توابع عضو insert و erase استفاده میشود. تابع erase به عنوان آرگومان یک ایتریتور به عنوان مکان ایندکس میگیرد و عنصر مورد اشارهی آن را حذف میکنند. تابع insert

علاوه بر ایتریتور، یک مقدار برای اضافه یا کم کردن از متغیر نیز دریافت میکند.

مثال ۵)

```
#include <iostream>
#include <vector>
using namespace std;

int main() {
   vector<int> v{1,1,1,1};
   v.insert(v.begin() + 1, 2);
   v.erase(v.begin());
   for(const auto& i: v)
      cout << i << ' ';
   cout << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
2 1 1 1
```

امکان پاس دادن ۲ آرگومان به erase() نیز وجود دارد. در این صورت بازهی بین آنها حذف میشود. برای مثال:

```
vector<int> v{1,1,1,1};
v.erase(v.begin(), v.begin() + 2); // {1,1}
```

هنگام اعلان متغیر از vector، با پاس دادن یک عدد به سازندهی آن با () میتوان سایز اولیهی vector را تعیین کرد. مقادیر عنصرها در این روش با سازندهی پیش فرض مقداردهی میشوند (در int با مقدار ۰، در std::string با رشتهی خالی و ...). اگر ۲ آرگومان پاس داده شود به تعداد آرگومان اول سایز اولیه و با آرگومان دوم عناصرش مقداردهی می‌شود. برای مثال:

```
vector<int> v(4); // {0,0,0,0}
vector<int> v2(4, 1); // {1,1,1,1}
```

با اعلان vector از vector میتوان آرایهی دو بعدی را پیادهسازی کرد. برای مثال:

```
vector<vector<int>> a;
```

یک متغیر به اسم a اعلان میکند که هر ایندکس، خود یک شی vector از int است. این شی در عمل مانند یک آرایهی دو بعدی نیز با [][] به ایندکس مورد نظر دسترسی ایجاد میشود.

از C++11، دو عضو emplace و emplace_back به vector اضافه شده. این عضوها مانند push_back و insert برای افزودن عنصر به vector قرار گرفتهاند با این تفاوت که آرگومانهای خود مستقیما بر روی فضا کانتینر ایجاد میکند. آرگومانهایی که این توابع دریافت میکنند از نوع عناصر vector نیستند؛ بلکه آرگومانهای دریافتی را با قالب variadic به سازندهی عنصر ارسال میکند. برای مثال، عملکرد push_back در دستورات زیر:

```
vector<MyClass> v;
v.push_back(MyClass{10}); // copy
```

به این صورت است که ابتدا شی موقت از MyClass ایجاد میشود و سپس به متغیر v انتقال مییابد. سپس در آخر نیز شی موقت از بین میرود. با استفاده از emplace_back به صورت زیر، مستقیما شی MyClass در کانتینر ساخته میشود و از کپی یا انتقال اضافه جلوگیری خواهد شد:

```
vector<MyClass> v;
v.emplace_back(10);
```

با پاس دادن مقادیر غیر از rvalue به اعضای emplace، عملکرد مشابهای مانند push_back ایجاد خواهد شد (هر دو شی را کپی میکنند):

```
vector<MyClass> v;
MyClass m{10};

v.push_back(m); // copy
v.emplace_back(m); // copy
```

عضو emplace نیز مانند emplace_back است، با این تفاوت که به عنوان آرگومان اول، یک ایتریتور قبل از عنصری که میخواهد ساخته شود میگیرد.
عضو emplace_back در کانتینرهایی که عضو push_back دارند موجود است. به طور مشابه، اعضای emplace_front و emplace نیز در کانتینرهایی که push_front و insert را شامل میشوند، قرار گرفتهاست.
در stl برای ذخیرهی توالیه عناصر، غیر از vector از دو نوع دادهی list و forward_list که پیاده سازی linked list (لیست پیوندی) است (به ترتیب doubly-linked list و singly-linked list) میتوان استفاده کرد. این نوعها برای ذخیرهی مقادیری استفاده میشوند که بیشتر افزودن/کاستن آنها از مکانهای غیر از ابتدا و انتهای کانتینر صورت میگیرد. نوعهای stack و queue نیز به ترتیب برای استفاده از نوع داده با LIFO و FIFO قرار دارند. نوع دادهی آخر deque (double-ended queue) است؛ افزودن/کاستن در این نوع فقط از اول و آخر کانتینر صورت میگیرد[1].

std::array

تاکنون برای ذخیره توالیای از عناصر با سایز **ثابت** از آرایه استفاده کردیم. یکی از ضعفهای آرایهها، تبدیل خودکار آنها به اشارهگر و از بین رفتن اطلاعات سایز آنهاست. همچنین مدیریت فضای آرایههای دینامیک، در برنامه های بزرگ نیز دشوار است. از C++11 به بعد، برای حل این ضعفها یک کانتینر به اسم std::array اضافه شده است.
بعد از افزودن هِدِر <array> ایجاد متغیر از آن به صورت زیر میشود:

```
std::array<dataType, size> a;
```

مقداردهی اولیهی آن با {} میتواند به ۲ صورت انجام شود:

```
std::array<dataType, size> a{{1,2,3,4}};
```

[1] برای ذخیرهی توالی مقادیر به صورت پیشفرض و در اکثر مواقع از std::vector استفاده میشود. نحوهی استفاده از کانتینرهای دیگر مشابه std::vector است و در رفرنس C++ موجود است.

```
std::array<dataType, size> a{1,2,3,4}; // since C++14
```

پیادهسازی قالب std::array، خود شامل یک آرایهی عادی است. مانند:

```
template<typename T, std::size_t n>
struct array {
   T a[n];
   // ...
}
```

در نتیجه با مقداردهی اولیه، آرایهی آن با {} مقداردهی میشود. در دستور زیر:

```
std::array<dataType, size> a{{1,2,3,4}};
```

{}های داخلی در برای آرایهی عضو قرار میگیرند. از C++14 به بعد میتوان فقط یک {} قرار داد. مثل:

```
std::array<dataType, size> a{1,2,3,4};
```

مثال ۶)

```
#include <iostream>
#include <array>
using namespace std;

void printSize(const array<int, 5> &m) {
   cout << "size: " << m.size(); // no decay
   cout << '\n';
}

int main() {
   array<int, 5> m{1, 2, 3, 4, 5};
   printSize(m);

   for(const auto& i : m)
      cout << i << ' ';
   cout << '\n';

   auto it = m.begin() + 2; // iterator
   cout << *it << '\n';
```

```
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
size: 5
1 2 3 4 5
3
```

به علت ثابت بودن سایز std::array، این متغیرها برخلاف std::vector شامل توابع push_back، emplace_back و ... نیستند.

std::map

std::map مانند vector یک نوع دادهی دیگر در stl است. استفاده از عناصر map، به صورت مجموعهای از زوجهای key-value صورت میگیرد. یک key حداکثر یکبار در عناصر map میتواند قرار گیرد (منحصر به فرد است). map در بعضی از زبانهای برنامه نویسی (مثلPython) به اسم دیکشنری وجود دارد. به دلیل key-value بودن کانتینر map، به آن کانتینر وابسته (associative) گفته میشود (در مقابل کانتینر متوالی (sequence) مثل vector).

اعلان متغیر از std::map، بعد از افزودن هِدِر <map> به صورت زیر میشود:

```
std::map<keyType, mappedType> m;
```

keyType نوع دادهی key و mappedType نوع دادهی مقادیر، اصطلاحاً مقادیر map شده است.

برای مقداردهی اولیهی map مانند vector از {} استفاده میشود. برای مثال:

```
map<int, string> m{{1, "s1"},
                   {4, "s2"},
                   {9, "s3"}};
```

سپس اضافه کردن عنصر با تابع عضو insert() به دو صورت زیر میتواند انجام شود:

```
m.insert( std::make_pair(key, data) );
m.insert( std::pair<keyType, datatype> (key, data) );
```

مثال ۷)

```
#include <iostream>
#include <map>
#include <string>
using namespace std;

int main() {
   map<string, string> m;
   m.insert(make_pair("a","Linux"));
   m.insert(make_pair("b","Windows"));
   cout << m["a"] << '\n'; // or .at()
   cout << m["b"] << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Linux
Windows
```

برای ایجاد حلقه در map و نمایش عناصر با for مبتنی بر بازه، به صورت زیر عمل میشود:

```
for(auto& i : m) {
    cout << m.first << " : " << m.second << '\n';
}
```

پس از برابر شدن هر i (در for) با عنصرهای map، نوع i از نوع std::pair میشود؛ با اجرای اعضای first و second با i به key و dataی map دسترسی پیدا میشود. در صورت استفاده از ایتریتور، برای اجرای این عضوها از اپراتور -> (یا (*i).) باید استفاده کرد. برای مثال:

```
map<string, string>::iterator i = m.begin();
cout << i->first << ":" << i->second; // a:linux
```

با اپراتور [] علاوه بر دریافت رفرنس به مقدار mapشده، برای اضافه کردن عنصر به آن نیز استفاده میشود. برای مثال:

```
m["d"] = "freeBSD";
```

تفاوت [] با insert() در این است که هنگام استفاده از []، اگر key وجود داشته باشد، مقدار آن با مقدار جدید جایگزین میشود و در غیر این صورت یک key جدید ایجاد میشود. ولی insert() همیشه یک key و data جدید میافزاید. لازم به ذکر است مقدار بازگشتی insert() نیز یک pair است که عضو first، یک iterator به عنصر اضافه شده یا از قبل موجود و second یک true یا false است؛ که true به معنی افزوده شدن عنصر و false به معنی وجود داشتن عنصر از قبل است. برای مثال:

```
auto ret = m.insert(make_pair(4, "freeBSD"));
if (!ret.second)
     cout << "key already exist with value of "
          << (ret.first)->second << '\n';
```

از فرم جدید if با init میتوان دستورات بالا را به صورت زیر نوشت (C++17):

```
if (auto ret = m.insert(make_pair(2, "freeBSD")); !
ret.second)
       cout << "key already exist with value of "
<< (ret.first)->second << '\n';
```

با استفاده از این فرم اسم متغیر ret در کل ناحیهای که if در آن نوشته شده قرار نمیگیرد و فقط در خود if قابل دسترس میشود.

برای جست و جو یک key در map از تابع عضو find استفاده میشود. این تابع اگر key مورد نظر را پیدا کرد، ایتریتور به عنصر آن برمیگرداند؛ در غیر این صورت map::end را برخواهد گرداند. برای مثال:

```
auto ret = m.find("a");
if(ret != m.end())
   cout<<"key 'a' found\n";
else
   cout << "key 'a' not found!\n";
```

این دستورات را نیز با ساختار جدید if با init میتوان بازنویسی کرد.

برای حذف کردن عنصر از map از تابع عضو erase استفاده میشود. این تابع به عنوان آرگومان هم میتواند ایتریتور (یا بازهای از ایتریتورها) بگیرد و هم key. مثال:

```
map<string, int> products{{"bread", 103}, {"meat",
42}};
products.erase("meat"); // {{"bread", 103}}
products.erase(products.begin()); // {}
```

عنصرها در متغیر map توسط key و از کوچک به بزرگ مرتب میشوند. برای مثال:

```
map<int, string> m{{5, "string1"},
                   {2, "string2"},
                   {9, "string3"}};
for(auto &i:m) {
   cout << i.first << " : " << i.second;
   cout << '\n';
}
```

خروجی زیر را خواهد تولید میکند:

```
2 : string2
5 : string1
9 : string3
```

برای keyهایی که از نوع stringاند این ترتیب بر اساس حروف الفبا است.

روش مرتب سازی map از پارامتر سوم قالب آن مشخص میشود که به طور پیش فرض std::less قرار دارد (جزعی از کامپوننت الگوریتم است).

مرتب سازی دلخواه را در صورت نیاز میتوان با تعیین نوع سومین پارامتر قالب با نوع شی قابل فراخوانی، انجام داد. این شی این نوع باید ۲ پارامتر key را بگیرند و یک مقدار bool برگرداند. برای مثال دستورات زیر:

```
struct customSort {
    bool operator()(const int &l, const int &r) {
        return (l > r);
    }
```

```
};

map<int, string, customSort> m;
m = {{5, "string1"},
     {2, "string2"},
     {9, "string3"}};

for(auto& i : m){
   cout << i.first << ' ' << i.second << '\n';
}
```

map را بر اساس بزرگی به کوچکی key های int نمایش میدهند.

در یک key، mapها میتوانند شی از نوع دادهی ایجاد شده در برنامه باشند. در چنین mapهایی باید فرآیند مرتبسازی (پیش فرض و یا تعیین شده) برای نوع داده تعریف شده باشد.

مثال ۸)

```
#include <iostream>
#include <map>
using namespace std;

class MyClass {
   int x;
public:
   MyClass(int x): x{x} {}
   const int& getx() const {return x;}
};

struct customSort {
    bool operator()(const MyClass &l, const MyClass
&r)    {
   return l.getx() > r.getx();
   }
};
```

```
int main() {
   map<MyClass, int, customSort> m;

   m.insert(make_pair<MyClass, int>(MyClass{3}, 1));
   m.insert(make_pair<MyClass, int>(MyClass{14}, 2));
   m.insert(make_pair<MyClass, int>(MyClass{7}, 3));

   for(const auto& i: m) {
      cout << i.first.getx() << " : "
           << i.second << '\n';
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
14 : 2
7 : 3
3 : 1
```

توضیح) در کلاس MyClass امکان سربارگذاری > برای مرتب سازی پیش فرض نیز وجود دارد.

یک کانتینر وابسته (associative) ی دیگر در stl، unordered_map است.

keyها در unordered_map مرتبسازی نمیشوند؛ این نوع داده با **جدول هش** (hash table) پیاده میشود و معمولاً نیاز به ذخیرهی بیشتر حافظه نسبت به map دارند. از طرفی سرعت دسترسی به عناصر unordered_map سریعتر است. رابط این نوع کانتینر تقریبا مشابه map است.

نوعهای دادهی دیگری به اسم multi (multimap، unordered_multimap) در stl وجود دارند. این کانتینرها میتوانند چند عنصر را با keyهای یکسان ذخیره کنند.

عضو آخر stl، setهاست (set، unordered_set، unordered_multiset). key در این نوع کانتینرها، value نیز هست. به علت محدودتر بودن کاربرد کانتینرهای غیر

از map در بین کانتینرهای associative، بـــه توضـــیح آنها نمیـــپردازیم. اعضـــای iterator، insert و ... در این کانتینرها نیز مفاهیم مشابهای با map دارند.

کار با فایل

پیش از این با ورودی و خروجی در کنسول به کمک cin و cout آشنا شدیم. در این قسمت با ورودی و خروجی در فایلها آشنا می‌شویم. برای این منظور در هِدِر <fstream> کلاس‌های زیر:

ofstream: برای نوشتن بر روی فایل،

ifstream: برای خواندن از فایل،

fstream: هم برای خواندن و نوشتن فایل

موجوداند. پس از ساخت شی از یکی از کلاس‌های مذکور برای ورود و خروج، ابتدا باید فایل مورد نظر با تابع open() باز شود. اعلان تابع open() به صورت زیر است:

```
void open(const char *I, ios::mode);
```

اولین آرگومان، آدرس فایل و دومین آرگومان مُد باز کردن فایل است که می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

flag	توضیح
ios::in	فایل را برای خواندن باز می‌کند. (ورود)
ios::out	فایل را برای نوشتن باز می‌کند. (خروج)
ios::app	خروجی، به انتهای فایل افزوده می‌شود.
ios::ate	فایل را باز میکند و برنامه را برای خواندن و نوشتن به انتها فایل می‌برد.
ios::trunc	اگر محتوایی در فایل وجود داشت، ابتدا آن را پاک میکند.
ios::binary	فایل را به صورت باینری باز می‌کند.

فرق ios::app با ios::ate این است که ios::app قبل از هر خواندن/نوشتن به انتهای فایل می‌رود؛ ولی ios::ate فقط با باز کردن فایل به انتهای فایل می‌رود و

پس از باز شدن، میتوان به مکان‌های دیگر فایل نیز رجوع شود.

با اپراتور | می‌توان بیش از یک مد را مشخص کرد. برای مثال:

```
FO.open("file.bin", ios::out | ios::app |
ios::binary);
```

شی FO، فایل file.bin را با سه مد باز می‌کند.

اشیای ofstream و ifstream به طور پیش فرض مدهای زیر را دارند:

کلاس	mode پیش فرض
ofstream	ios::out | ios::trunk
iostream	ios::in
fstream	ios::in | ios::out

باز کردن فایل با سازنده نیز امکان‌پذیر است.

بعد از باز کردن فایل – مانند cout و cin - از اپراتور << برای خروجی و >> برای ورودی استفاده میشود.

مثال ۱) برنامه‌ای که از شی ofstream استفاده می‌کند:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
using namespace std;

int main() {
   ofstream of{"data.txt"};
   of << "text1\n";
   of << "text2\n";
}
```

با کمپایل و اجرای دستورات، فایل data.txt در دایرکتوری برنامه ایجاد و سپس رشتههای text1 و text2 در آن نوشته می‌شوند. مانند:

توضیح) با از بین رفتن شی fstreamها، فایل باز شده به طور خودکار بسته میشود. با این وجود، جهت بستن زودتر فایل قبل از از بین رفتن شی، از تابع عضو close() میتوان استفاده کرد. با تابع is_open() نیز می‌توان باز یا بسته بودن فایل توسط شی را بررسی کرد. این تابع در صورت باز بودن true و در غیر این صورت false برمیگرداند.

با پاس دادن نام فایل به open() یا سازنده، فایل در دایرکتوری برنامه ایجاد می‌شود. برای ایجاد فایل در دایرکتوری دیگر، اسم فایل را باید همراه با آدرسش پاس داد. مثلاً در سیستم عامل‌های شبه یونیکس، با پاس دادن:

```
/tmp/data.txt
```

برنامه، فایل data.txt را در دایرکتوری /tmp ایجاد می‌کند.

کاربران ویندوز برای آدرسی دهی دایرکتوری با \، باید دو بک اسلش \\ قرار دهند. در این صورت با توجه به escape character‌ها، اولین بک اسلش نادیده و دومین بک اسلش در آدرس فایل قرار میگیرد. در ویندوز با / نیز میتوان آدرس فایل را تعیین کرد.

مثال ۲) اگر فایل data.txt را در دایرکتوری برنامه به صورت زیر داشته باشیم:

```
data.txt:
20    Richard    10
```

```
15    Linus      20
5     Ken        30
```

به طوری کـه داده‌ها بـه ترتیب سـتون‌ها بـه صـورت id، اسـم و سـن وارد شـده‌اند، با دستورات زیر داده‌ها در خروجی نمایش مییابند:

```
#include <iostream>
#include <fstream>
#include <string>
using namespace std;
int main() {
   int id, age;
   string name;
   ifstream ifo{"data.txt"};
   ifo >> id >> name >> age;
   cout << id  << ' ' << name << ' ' << age << '\n';
   ifo >> id >> name >> age;
   cout << id  << ' ' << name << ' ' << age << '\n';
   ifo >> id >> name >> age;
   cout << id  << ' ' << name << ' ' << age << '\n';
}
```

برای جلوگیری از چند بار نوشته شـدن دسـتورات خوانـدن، از while بـه صـورت زیـر می‌توان استفاده کرد:

```
while(ifo >> id >> name >> age) {
   cout << id  << ' ' << name << ' ' << age << '\n';
}
```

اشـیای ofsream شـامل تـابع عضـو seekp() و ifstream شـامل seekg() هستند که جهت تغییر مکان در فایل استفاده میشوند. اولین آرگومان، فاصله را به صورت بایت از آرگومان دوم ایجاد می‌کند. آرگومان دوم می‌تواند:

ios::beg از اول فایل،

ios::cur از مکان فعلی در فایل،

ios::end از آخر فایل باشد.

باشد. در صورت نوشته نشدن آرگومان دوم، ios::beg به طور پیش فرض قرار میگیرد.

با توابع tellp() و tellg() می‌توان به ترتیب موقعیت خروجی و ورودی فعلی فایل را دریافت کرد.

مثال ۳) در این مثال یک فایل به اسم a.txt در دایرکتوری برنامه ایجاد و با توابع عضو tellp() و seekp() نیز به قسمتهای مختلف فایل رجوع میشود.

```
#include <fstream>
#include <string>
using namespace std;

int main(){
   std::ofstream of{"a.txt"};
   of << 1 << '\n';
   of << 2 << '\n';
   of << 3 << '\n';
   auto pos = of.tellp();
   of.seekp(pos - 3);
   of << "string\n";
}
```

توضیح) پس از اجرای برنامه، محتوای فایل a.txt به صورت زیر میشود:

```
1
string
```

تابع (۲)

در این فصل به ناگفتههای توابع میپردازیم.

constexpr

در گذشته مشاهده کردیم که با استفاده واژه‌ی constexpr می‌توان متغیرهایی را اعلان کرد که مقدارشان در حین کمپایل مشخص میشود. این نوع مقادیر، امتیازاتی نسبت به مقادیر معمولی دارند: می‌توانند در تعیین تعداد عناصر std::array، مقادیر شمارنده و ... استفاده شوند. اکنون با کاربرد constexpr در توابع آشنا می‌شویم.

توابع constexpr برخلاف متغیر constexpr همیشه مقدار مشخص در حین کمپایل برنمی‌گرداند. توابع constexpr فقط زمانی این نوع مقادیر را برمی‌گردانند که با **چنین مقادیری فراخوانی** شوند. در غیر این صورت مانند یک تابع عادی عمل خواهند کرد. برای مثال فرض کنید در برنامه نیاز به نوشتن تابعی شود تا مقداری برای تعیین سایز اشیای std::array، با انجام یکسری محسابه برگرداند. چنین تابعی را میتوان به صورت زیر نوشت[1]:

```
constexpr int f(int a, int b){
  // int result = …;
    return result;
}
```

و سپس میتوان یک std::array به صورت زیر اعلان کرد:

```
std::array<int, f(2,2)> a;
```

تابعی که مقدار constexpr برمی‌گرداند محدود به دریافت و بازگشت انواع لیترالها است. در C++ می‌توان تمام لیترال‌های موجود به جز void و انواع دادههایی که با constexpr ایجاد شدهاند را به عنوان پارامتر توسط این توابع دریافت کرد.

مثال ۱) در این مثال با تعریف کلاسی که با مقادیر constexpr مقداردهی و

[1] در صورتی که با کمپایل دستورات با خطا مواجه میشوید، کمپایلر شما از C++14 پشتیبانی نمیکند. در C++11 توابع constexpr فقط میتوانند شامل یک دستور و آنهم دستور return باشد.

مقدارگیری میشود آشنا می‌شویم.

```
#include <iostream>
#include <array>
using namespace std;

class Class{
public:
    constexpr Class(int aVal): a{aVal}
    {}
    constexpr int geta() const {return a;}
private:
    int a;
};

int main(){
    constexpr Class c{10};
    array<int, c.geta()> a; // 10
}
```

توضیح) در این مثال اعلان سازنده را به صورت constexpr نوشتیم زیرا مقادیری که با آنها شی مقداردهی اولیه می‌شود در حین کمپایل مشخصاند. به همین ترتیب توابع عضو getter و setter میتوانند چنین مقدایری را برگرداند.

تابع constexpr یک سری محدودیت نیز دارد؛ در C++14 نمیتواند شامل موارد زیر باشد:

1. اعلان asm[1]
2. دستور goto
3. دستوری که شامل label است به جز case و default.
4. بلوک try
5. تعریف متغیر از نوع غیر لیترال

[1] اعلان asm قابلیتی است که امکان استفاده از کد اسمبلی در برنامهی C++ را ممکن میکند.

6. تعریف متغیر static یا thread
7. تعریف متغیر بدون مقداردهی اولیه

در صورت عدم وجود این موارد، تابع را به صورت constexpr تعریف کنید.

همچنین کمپایلر برای متغیرهایی که از نوع constexpr تعریف شوند، میتواند بهینهسازی نیز انجام دهد. پس به عنوان یک قاعده کلی متغیرها و توابع را به صورت constexpr اعلان کنید مگر اینکه با محدودیتهای مذکور مواجه شوید.

اشارهگر تابع

در C و C++ امکان اشاره به یک تابع وجود دارد. این نوع اشارهگرها، **اشارهگر تابع** نام دارند. اگر تابعی مانند زیر داشته باشیم:

```
int sum(int a, int b){
   return a + b;
}
```

میتوان به صورت زیر یک اشارهگر اعلان کرد و به سپس به تابع sum اشاره داد:

```
int (*sumPtr)(int, int);
sumPtr = &sum;
```

برای دستیابی به آدرس تابع، & نیز میتواند قرار نگیرد:

```
int (*sumPtr)(int, int);
sumPtr = sum;
```

سپس برای فراخوانی تابع با اشارهگر، به دو صورت میتوان زیر عمل کرد:

```
sumPtr(1,4);
(*sumPtr)(1,4);
```

مثال ۲)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int sum(int a, int b){
```

```
   return a + b;
}

int main() {
   int (*sumPtr)(int, int) = &sum;
   cout << sumPtr(2,4) << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
6
```

به این ترتیب فرمت اعلان اشارهگر تابع به صورت زیر است:

```
funcReturnType (*funcName)(parameters);
```

هنگام فراخوانی یک تابع به اشارهگر توجه کنید که در صورتی که تابع، پارامتر پیش فرض داشته باشد، این مقادیر مقداردهی نمیشوند. زیرا پارامترهای پیش فرض هنگام کمپایل مقداردهی میشوند؛ ولی فراخوانی یک تابع با اشارهگر، هنگام اجرا ارزیابی خواهد شد. در این صورت مقادیر پارامترها مستقیم هنگام فراخوانی با اشارهگر باید تعیین شوند. برای مثال:

```
 int func(int a, int b = 10) {
   // definition
}
funcPtr(5, 10);
```

در برنامه نویسی یکی از کاربردهای این اشارهگرها، پاس دادن آنها به توابع دیگر است. زیرا توابعی که این نوع اشارهگرها را دریافت میکنند میتوانند توابع مورد اشارهی آنها را – در صورت یکسان نبودن ناحیه آنها نیز - اجرا کنند. این توابع، توابع callback نام دارند.

مثال ۳)

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;
```

```
void func(const string& s, void (*callback)(string
const&) ){
   callback(s);
}

void print(const string& s){
   cout << "**" << s << '\n';
}

int main() {
   void (*fptr)(string const&) = &print;
   func("string", fptr);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
**string
```

در ادامهی این فصل با `std::function` آشنا خواهیم شد. شی این قالب کلاس علاوه بر توابع، در ذخیرهی تمام اشیای قابل فراخوانی (مثل شی کلاسی که اپراتور () را سربارگذاری کرده باشد) قابل استفاده است. `std::function` جایگزین مناسب برای اشارهگر توابع در C++ مدرن است.

تابع inline

تابعی که به صورت `inline` تعریف میشود هنگام فراخوانی، بدنهاش مستقیم در محل فراخوانی قرار میگیرد. برای مثال:

```
inline int add(int a,int b){
    return a + b;
}
```

برای تعریف تابع به صورت `inline`، این واژه، باید قبل از تعریف تابع قرار گیرد و اعلان آن مانند اعلان یک تابع عادی نوشته میشود. تابعی که در خود کلاس تعریف شده، به

طور خودکار از نوع inline تعریف میشود.

```
class MyClass {
public:
   void f1(){ // inline
   }
   void f2();
};

inline void MyClass::f2() // inline
{}
```

توجه شود inline قرار دادن تابع صرفا باعث قرارگیری بدنهی آن در محل اعلان نمیشود. بلکه به کمپایلر پیشنهاد میکند که این تابع را به این صورت تعریف کند. کمپایلر با اعمال بهینه‌سازی، توابع غیر inline را نیز میتواند inline و یا توابع inline را به صورت عادی تعریف کند. در تئوری با قرارگرفتن بدنهی تابع inline در مکان فراخوانی، سرعت اجرای برنامه بالا میرود ولی حجم برنامه نیز افزایش پیدا میکند. تاثیر inline علاوه بر احتمال افزایش سرعت اجرا، امکان تعریف یکسان تابع در چند translation unit (TU) را فراهم میکند. در عمل به این معنیست که میتوان تابع را در هِدِر تعریف کرد؛ در نتیجه با افزوده شدن این هِدِر در چند TU، کمپایلر در لینک ایجاد خطا نمیکند. در C++17، متغیرهای inline نیز افزوده شده‌اند. متغیری که از نوع static و یا در ناحیهی namespace قراردارد میتواند از نوع inline تعریف شود:

```
struct MyStruct
{
    inline static int n = 1;
};
```

به این صورت امکان تعریف متغیرها inline در هِدِر وجود دارد به طوری که با ایجاد چند تعریف آن (با چند بار افزوه شدن هِدِر) خطای لینکر ایجاد نمیشود. همچنین توابعی که از نوع constexpr تعریف شده‌اند، به طور خودکار inline نیز هستند.

حذف تابع با delete

اگر اعلان تابعی مانند زیر داشته باشیم:

```
void getsInt(int a);
```

این تابع میتواند با آرگومان های غیر از int نیز فراخوانی شود. برای مثال فراخوانی‌های زیر صحیح اند:

```
getsInt(true);
getsInt('a');
getsInt(1.5);
```

دلیل این عملکرد تبدیل خودکار مقادیر char، bool و double به int است که توسط کمپایلر صورت میگیرد. در برنامه اگر این تابع فقط به ازای پارامترهای int معنیدار باشد، میتوان اعلان تابع برای مقادیر غیر int را با delete حذف کرد. برای مثال:

```
void getsInt(int a);
void getsInt(bool) = delete;
void getsInt(char) = delete;
void getsInt(double) = delete;
```

توجه شود که با حذف تابع به ازای آرگومان double، تابع برای float نیز حذف میشود چون کمپایلر تبدیل float به double را به int ترجیح میدهد و با فراخوانی تابع با مقدار float، برنامه سعی به اجرای تابع delete شده میکند.

همانطور که گفته شد در C++5، تابع عضو در کلاسها به صورت خودکار و توسط کمپایلر ایجاد میشوند. در شی بعضی از کلاس ها مثل استریمها، عملکرد دقیق سازندهی کپی و یا مثلاً انتقال مشخص نیست. در این گونه کلاسها میتوان از delete برای حذف این توابع استفاده کرد. برای مثال:

```
class uncopyable{
public:
  uncopyable(const uncopyable&) =delete;
```

```
  uncopyable& operator=(const uncopyable&) =delete;
};
```

decltype و decltype(auto)

اپراتور decltype نوع عبارت را برمیگرداند. برای مثال:

```
int i = 0;
decltype(i) j = 1;  // j as int
```

نحوهی بازگردانی نوع در decltype به گونههای است که اگر عبارت، یک identifier یا عضو کلاس (یا struct) که با . یا -> دسترسی ایجاد شده باشد، decltype نوع متغیر را برمیگرداند. برای مثال:

```
int i = 0;
const int i2 = 0;

class MyClass {
public:
   int x;
};

decltype(i) // int
decltype(i2) // const int
decltype(MyClass::x) // int
```

در غیر این صورت اگر عبارت lvalue، e و از نوع T باشد، T، decltype(e)&، اگر از نوع xvalue باشد T&&، در غیر این صورت از نوع prvalue است که T را برمیگرداند. برای مثال:

```
int f(int x){ return x;}

int x1 = 1, x2 = 2;

template<typename T>
class MyClass {
    //...
```

```
public:
T& operator[](size_t index);

};
MyClass<int> m; // decltype(v) is vector<int>

decltype(f(x)) // int
decltype(m[0] == 10) // int&
decltype(x1 + x2); // int
```

در C++11 یکی از کاربردهای decltype در تعیین نوع بازگشتی قالبهای توابعی بـود که مقدار بازگشتی آنها وابسته به پارامترهای قالب بودند. برای مثال در تعریف زیر:

```
template <typename T, typename U>
auto add(T const &t, U const &u) -> decltype(t+u) {
  return t+u;
}
```

نوع بازگشتی قالب بـر اساس نـوع جمـع پارامترهای t و u تعـیین میشـود. توجـه شـود اینگونه تعیین نوع (با -> بعد از لیست پارامتر)، نـوع بازگشـتی trailing نـام دارد و مختص decltype نیست. از این روش تعیین نوع در توابـع عادی کـه از نـوع auto تعیین شدهاند نیز میتوان استفاده کرد. برای مثال:

```
auto f() -> int {
    return 1;
}
```

از C++14 به بعد نوشتن نوع بازگشتی trailing اختیاری شده است. در نتیجه قالب تابع add را بدون decltype میتوان به صورت زیر نوشت:

```
template <typename T, typename U>
auto add(T const &t, U const &u) {
  return t+u;
}
```

این کاربرد decltype البته در لامبداهایی کـه پارامتر آنها از نـوع auto اسـت مـورد استفاده قرار میگیرد (بخش بعد).

هنگام استفاده از auto برای تعیین نوع در دستورات زیر:

```
const int& ci = 10;
auto ci2 = ci; //ci2 as int
```

نوع ci2 از طریق نتیجهگـیری نـوع auto تعـیین میشـود در نتیجـه نـوع ci2 بـدون const و رفرنس تعـیین خواهـد شـد. با اسـتفاده از decltype(**auto**)، میتـوان نتیجهگیری نوع در auto را از طریق قوانین decltype انجام داد. برای مثال:

```
const int& ci = 10;
decltype(auto) ci2 = ci; //ci2 as const int&
```

متغـیر ci3 از نـوع int const& تعـیین میشـود. اسـتفادهی اصـلی decltype(auto) در تعیین نوع بازگشتی توابـع ارسالی یا تـوابعی اسـت کـه توابـع دیگر را فراخوانی میکنند. برای مثال:

```
int  f1();
int& f2();

decltype(auto) use_f1() {return f1();}
decltype(auto) use_f2() {return f2();}
```

تابع use_f1() مقدار f1 را از نوع عادی و use_f2() را از نوع رفرنس برمیگردانـد. در تابع ارسالی:

```
template<class... Args>
decltype(auto) f(Args&&... args) {
    return f2(std::forward<Args>(args)...);
}
```

بـه این ترتیب میتـوان آن را از نـوع decltype(**auto**)، بـدون دانسـتن رفرنس یا رفرنس نبودن مقدار بازگشتی تعیین کرد.

عبارتهای لامبدا[1]

لامبداها، توابعی بیاسماند که مستقیم در یک محل تعریف و استفاده – یا به طور معمولتر – به توابع دیگر پاس داده میشوند.

دستور زیر یک لامبدا ایجاد میکند:

```
[] (int a, int b){return a + b;}(2,3);
```

[] نماد تابع لامبدا، (int a, int b) پارامترهای آن و return a + b دستور بازگشت لامبدا است. (۲,۳) آرگومان‌هایی است که به لامبدا پاس داده می‌شود.

مثال ۴) برنامه‌ای که از لامبدا استفاده می‌کند:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   cout << [](int a, int b){return a + b;}(2,1) << '\
n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
3
```

فرمت تعریف تابع لامبدا به صورت زیر است:

```
[capture list] (parameter list) mutable noexcept ->
ret {function body}
```

که: [] و لیست دریافت[2] (عبارتی درون ۲ قلاب) می‌تواند یکی از ۳ نوع زیر باشد:

[]: متغیرهای محلی در لامبدا دریافت نمیشوند.

[&]: متغیرهای محلی با رفرنس در بدنه‌ی لامبدا دریافت میشوند.

[=]: متغیرهای محلی با مقدارشان دریافت میشوند.

ret نوع بازگشتی لامبدا است. اگر نوشته نشود برنامه نوع آن را از روی مقدار return

[1] Lambda function
[2] capture list

تعیین میکند.

اگر متغیر ذخیرهسازی آن از نوع اتوماتیک نباشد، میتواند توسط لامبدا بدون لیست دریافتی دریافت شود:

```
int x = 10;
int main() {
    [] () {cout << x << '\n';} ();
}
```

در لامبدا، مقدار متغیرهای گرفته با مقدار (بر خلاف رفرنس) به طور پیش فرض نمیتواند تغییر کند. برای مثال:

```
int x;
[&](){x = 2;}(); // OK
[=]() {x = 3;}(); // error
```

برای تغییر مقادیر این متغیرها، از واژهی mutable در تعریف لامبدا باید استفاده کرد:

```
int x;
[&](){x = 2;}(); // OK
[=]() mutable {x = 3;}(); // ok
```

همچنین یکی از انواع لیست دریافتی میتواند برای متغیرها تعیین شود و برای متغیرهای دیگر استثنا قایل شد. برای مثال:

```
int x = 10, y = 10;
[&, y] () mutable {x++; y++;} ();
cout << x << '\n'; // 11
cout << y << '\n'; // 10
```

در C++17 در محل mutable، میتوان واژهی constexpr قرار داد. قرارگیری این عبارت به کمپایلر اعلان میکند فراخوانی تابع، یک فراخوانی constexpr است. اگر این واژه قرار نگیرد و لامبدا تمام شرایط constexpr را داشته باشد نیز، لامبدا از نوع constexpr تعریف میشود.

عبارت noexcept در صورت قرارگیری در تعریف لامبدا، به کمپایلر اعلان میشود که

لامبدا ایجاد استثنا نمیکند (بررسی در فصل آینده). قرارگیری این عبارت اختیاری است.

مثال ۵) برنامه‌ای که شامل لامبدایی است که از لیست دریافتی جهت دسترسی به متغیرهای خارج از آن استفاده می‌کند:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
   int y = 0;
   [&](int x) { if (y > x){
      cout << "y > x";
      } else {
         cout << "y < x";
      }
   }(2);
   cout << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
y < x
```

تابع std::sort یک تابع از هِدِر <algorithm> است که برای مرتب سازی کانتینرها استفاده میشود. به تابع std::sort، در صورت پاس دادن ۲ آرگومان به طوری که اولین آرگومان، ایتریتور به اولین عنصر و دومین آرگومان، ایتریتور به آخرین عنصر آرایه باشد، این تابع، عناصر کانتینر را به طور صعودی مرتب میکند. برای مثال:

```
int a[] = {1, 5, -4, 14};
size_t s = sizeof(a) / sizeof(a[0]);
sort(a, a + s);

for(const auto& i: a) {
   cout << i << ' ';
} // -4 1 5 14
```

تابع std::sort میتواند به عنوان پارامتر سوم یک شی تابع برای مقایسه دریافت

کند. این تابع باید به صورتی باشد که اگر اولین آرگومان این تابع کوچکتر از دومی باشد باید true برگرداند. برای تعریف این تابع مقایسه به جای تعریف یک تابع عادی و قرار دادن آن در کل برنامه، میتوان در محل فراخوانی std::sort، یک لامبدا تعریف کرد و به آن پاس داد.

مثال ۶) برنامهای که کاربرد لامبدا را هنگام استفاده از تابع std::sort نشان میدهد.

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <cmath>
#include <algorithm>
using namespace std;

int main(){
   vector<int> v = {-4, 4, -2, 6, -8};
   sort(v.begin(), v.end(), [](int a, int b) {
      return abs(b) > abs(a);
   });
   for(const auto& i : v) {
       cout << i << ' ';
   }
   cout << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
-2 -4 4 6 -8
```

توضیح) در این مثال از یک لامبدا برای مرتب کردن عناصر std::vector استفاده میشود به طوری که عناصر آن را بر اساس مقدار قدر مطلق آنها مرتب میکند.

همانطور که در اول بخش گفته شد در حالت ساده نوع بازگشتی لامبدا توسط کمپایلر و به طور خودکار نتیجهگیری میشود. نتیجهگیری نوع در لامبدا، مشابه یک تابع عادی است که نوع بازگشتی آن از نوع auto تعیین شده. برای مثال:

```
[](int a, int b){ return a + b; } (3,4); // 7
```

نوع بازگشتی آن از نوع int تعیین میشود. با این حال در صورت نیاز میتوان نوع بازگشتی آن را با -> T بعد از پارامتر آن تعیین کرد (مثلاً زمانی که نوع returnها متفاوت است)، مثلاً:

```
[](int a) -> double {
   if(a==3){
      return 1; // int
   } else {
      return 1.1; // double
   }
} (4);
```

نوع دادهی پارامترهای لامبدا را میتوانند از نوع auto نیز تعیین کرد. برای مثال ۵، تعریف لامبدای زیر صحیح است:

```
[](auto a, auto b){return a + b;} (2,1);
```

در نتیجه برای دریافت آرگومان با ارسال کامل میتوان از decltype به صورت زیر استفاده کرد:

```
[](auto&& x){
  f(std::forward<decltype(x)>(x));
}(expr);
```

به طور کلی در لیست دریافتی لامبداها، متغیر نیز میتوان اعلان کرد. مثالاً:

```
[x = 10] () {
   cout << x << '\n';
}();
```

به این نوع لیست دریافتی، **لیست دریافتی عمومی**[1] گفته میشود. از این نوع لیست دریافتی در انتقال اشیا به لامبدا میتوان استفاده کرد:

```
unique_ptr<int> u(new int(10));
[u{move(u)}] () {
   cout << *u << '\n';
```

[1]

```
}();
```

خروجی زیر را خواهد داشت:

```
10
```

از لیست دریافتی عمومی جهت قرار دادن نام جدید برای متغیرهای خارج از لامبدا نیز استفاده میشود:

```
int i = 4;
[newi = i] () {
   cout << newi << '\n';
}();
```

به طور کلی لامبدا زمانی کاربرد دارد که بتوان آن را ذخیره کرد. با ذخیرهی لامبدا، آن را میتوان به توابع دیگر پاس داد، در کانتینر ذخیره کرد و ... . برای ذخیرهی لامبدا از std::function موجود در هِدِر <functional> استفاده میشود. اشیای این قالب کلاس برای ذخیرهی لامبدا، توابع عادی و به طور کلی هر شی قابل فراخوانی استفاده میشود.

مثال ۷) برنامهای که چند روش استفاده از std::function را نشان میدهد:

```
#include <iostream>
#include <functional>
using namespace std;

void print_func(int i) {
   cout << i << '\n';
}

struct PrintNum {
   void operator()(int i) const{
        cout << i << '\n';
   }
};

int main() {
```

```
    function<void()> f1 = []() { cout << "f1\n"; };
    f1();

    function<void(int)> f2 = print_func;
    f2(20);

    function<void(int)> f3 = PrintNum();
    f3(30);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
f1
20
30
```

در صورتی که یک لامبدا بدون لیست دریافتی تعریف شود به جای `std::function`، میتوان آن را با **اشارهگر تابع** ذخیره کرد. به دلیل کاربرد کم چنین اشارهگری از بررسی مثالی در این مورد پرهیز میکنیم.

هنگام ذخیرهی لامبدا مانند مقادیر، به جای نوشتن نوع آن مثل `function<void()>` از واژهی `auto` میتوان استفاده کرد. برای مثال:

```
auto add = [](int a, int b){ return a + b; };
```

نیاز به ذکر است که از شی `std::function` در قالب‌ها، برای دریافت لامبدا با انواع مختلف نمیتوان به صورت زیر عمل کرد:

```
template<typename T>
void f(std::function<bool(T)> lf); // error
```

دلیل محدودیت قالبها این است که کمپایلر برای یک لامبدا، یک شی از یک کلاس به اسم **نوع کلوژِر**[1] - که به صورت خودکار ایجاد میشود - میسازد. همچنین نوع کلوژرها منحصر به فرد است به این معنی که کمپایلر برای دو لامبدا با ظاهر یکسان، دو نوع کلوژر یکسان ایجاد نمیکند. برای مثال:

[1] Closure type

```
auto l1 = [](int x) {return 10;};
auto l2 = [](int x) {return 10;};
std::is_same< decltype(l1), decltype(l2)>::value; // false
```

سپس اشیای ساخته شده از انواع کلوژر به صورت خودکار به شـــی std::function تبدیل میشوند. در قالب تابعها تبدیل خودکـار در نظر گرفتـه نمیشـود، بـه همین دلیـل امکان دریافت لامبدا به ازای انواع مختلف پارامتر T وجود ندارد. درچنین مواردی نـوع T باید به صورت مختص تعیین شود و یا پارامتر قالب جـدایی بـرای دریافت لامبـدا نوشـته شود. اشیای موقت ساخته شده از نوع کلوژر در هنگام اجرای برنامه، **کلوژر**[1] نام دارند.

مثال ۸)

```
#include <vector>
#include <iostream>
#include <functional>
using namespace std;

template<typename T, typename Function>
vector<T> filter(vector<T> const& v, Function f) {
   vector<T> tmp;
   for(auto const &i: v) {
      if(f(i)) {
         tmp.push_back(i);
      }
   }
   return tmp;
}

template<typename T>
void print_vec(const vector<T>& v) {
   for(auto const&i : v) {
       cout << i << ' ';
   }
   cout << '\n';
```

[1]. Closure

```
}

int main() {
   vector <int> v = {1,2,3,4,5};
    vector<int> result1 = filter(v, [](int x) {return
(x > 2);});
    vector<int> result2 = filter(v, [](int x) {return
(x > 4);});

   print_vec(result1);
   print_vec(result2);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
3 4 5
5
```

توضیح) این برنامه شامل قالب تابعی است که شی هرنوع vectorای را با یک لامبدا دریافت میکند و با توجه به لامبدای بولین، شی فیلتر شدهی مناسب را از نوع vector برمیگرداند.

از std::function برای ذخیره کردن اعضای یک کلاس (یا struct) هم میتوان استفاده کرد:

```
struct MyStruct {
   MyStruct(int num) : num(num) {}
   void print_add(int i) {
      cout << num+i << '\n';
   }
   int num;
};

MyStruct MS0{1};

function<void(MyStruct&, int)> f =
&MyStruct::print_add;
```

```
f(MS0, 5);

function<int(MyStruct&)> n = &MyStruct::num;
cout << "num: " << n(MS0) << '\n';
```

خروجی زیر را خواهد داشت:

```
6
n = 1
```

همانطور که از خروجی دیده میشود برای ذخیرهی یک عضو در std::function، باید شی کلاس (یا struct) به عنوان پارامتر توسط متغیر std::function دریافت شود.

اکنون به std::bind میپردازیم. std::bind یک تابع دریافت میکند و یک شی تابع را با مقادیر پیشفرض یا جابهجایی شدهی پارامترها برمیگرداند.

مثال ۹)

```
#include <iostream>
#include <functional>
using namespace std;
using namespace std::placeholders;

void f1(int p1, int p2, int p3) {
   cout <<p1<<' '<<p2<<' '<< p3;
   cout << '\n';
}

int main() {
   auto f2 = bind(f1, _3, _2, _1);
   f2(1,2,3);
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
3 2 1
```

توضیح) اولین ورودی std::bind، تابع (یا هر شی قابل فراخـوانی) اسـت. آرگومانهای بعدی std::bind، نحوهی قرارگیری و یا مقادیر تابعیست که برمیگردد. _۱، _۲ و ... نیز اعضای placeholdersاند که با using namespace در برنامه معرفی شدند. در این برنامـه تـابع بازگشـته (از نـوع std::function) تـابع f1 را با پارامترها بـه صورت برعکس اجرا میکند.

مثالهای دیگر از std::bind:

```
auto f1 = [](int a, int b) {cout << a << ' ' << b;};
auto f2 = bind(f1,10, _1);
f2(2,3); // 10 2
```

در C++14، کاربرد std::bind به اندازهی C++11 نیست: چون هنگام تعریف لامبدا در C++14 بـر خلاف C++11، امکـان انتقـال متغیرها در لیسـت دریافتی وجـود دارد. دستور C++11 زیر:

```
int v = 4;
auto f1 = std::bind(f, std::move(v));
```

در C++14 به صورت زیر و بدون std::bind نوشته میشود:

```
int v = 4;
auto f1 = [v{std::move(v)}]() { f(std::move(v)); };
```

همچنین در C++11 عبارتها نمیتوانند در لامبـدا دریافت شـوند و فقـط مشخصـهها این قابلیت را دارند. در C++14 این محدودیت برداشته شده. دستور C++11 زیر:

```
auto f1 = std::bind(f, a + b);
```

در C++14 به صورت زیر میتواند نوشته شود:

```
auto f1 = [sum = a + b]() { f(sum); };
```

عبارتهای لامبدا در C++، پایهی برنامـه نویسـی تابعیانـد. در این پارادایم برنامـه نویسـی، محاسبات به عنوان ارزیابی توابع و بدون تغییر دادههای ثابت صـورت میگـیرد. در برنامـه نویسی تابعی همچنین توابع را ماننـد مقـادیر میتـوان بـه توابـع دیگر پاس داد، از توابـع

بازگرداند و ... . به عنوان مثالی ساده اگر یک شـی std::vector متشـکل از یکسری عناصر int در برنامه موجود باشد و نیاز به ایجاد یک شی جدید از std::vector با مقادیر به توان ۲ رسیدهی عناصر شی اول شود، در حالت عادی از ساختار for اسـتفاده میکنیم. برای مثال:

```
vector<int> v = {1,2,3,4,5};
vector<int> result;
for(const auto& i : v){
   result.push_back(i * i);
}
```

با استفاده از لامبـدا و std::transform دسـتورات بالا را میتـوان بـه صـورت زیـر بازنویسی کرد (این عمل در برنامه نویسی تابعی نگاشت (map) نام دارد):

```
vector<int> v = {1,2,3,4,5};
vector<int> result;
std::transform(v.begin(), v.end(),
               std::back_inserter(result),
               [](const int i) { return i*i;});
```

قالب تابع std::transform ابتدا و انتهای یک بازه، ابتدای بازهی مقصد و یک شی تابع (مثل لامبدا) را میگیرد و تابع را برروی تمام عناصر بازهی مبدا اعمال میکند؛ سپس نـتیجهی حاصـل شـده در بازهی مقصـد ذخـیره میشـود. قـالب تـابع std::back_inserter یک نوع خاصی از ایـتریتور اسـت کـه بـرای تغیـیر مقـدار عناصر در <algorithm> استفاده میشود.

استثناء[1]

اگر در برنامه یک تابع با پارامتر int موجود باشد به طوری که به ازای آرگومان ۰ عملکرد غلط دارد، در گذشته از if و بازگشت یک مقدار خطا (مثلا -۱) برای عدم اجرای تابع استفاده میکردیم. مانند:

```
int f(int a){
   if(a == 0) {
      cout << "wrong input\n";
         return -1;
   }
   //…
}
```

این نوع بررسی مقدار پارامتر چندین ضعف دارد؛ برای مثال، دستور return -1; که به منظور مشخص کردن ورودی غلط به تابع نوشته شده، در بعضی از توابع، امکان تمایز آن با مقدار بازگشتهی ۱- در حالت عادی وجود ندارد. برای مثال در تابع:

```
double division(double a, double b){
   if(b == 0) {
      cout << "can't divide by 0\n";
      return -1;
   }
   return a/b;
}
```

که ۲ عدد را گرفته و حاصل تقسیم اولی بر دومی را برمی‌گرداند، در صورتی که -۱ از تابع برگردد، معلوم نیست که پارامتر دوم ۰ بوده و یا حاصل تقسیم مقدار -۱ شده است.

در C++ مدیریت خطاها را با استفاده از یک مکانیسم بهتری به اسم **مدیریت استثنا** میتوان انجام داد. در این ساختار، *قسمتی از برنامه که وقوع خطا را به برنامه گزارش میدهد از مقدار بازگشتی تابع متمایز میشود.* همچنین خطاهایی که در اجرای برنامه رخ میدهند لزوما مربوط ورودیهای غلط نیست؛ خطای ناشی از برقراری ارتباط با دیتابیس،

[1]. Exception

مشکل سطح دسترسی فایل هنگام باز کردن آنها و ... همگی از این نوع خطاها هستند.
ایجاد استثنا با دستور throw صورت میگیرد. بعد از این واژه، مقداری را که با ایجاد استثنا میخواهیم تولید شود قرار میدهیم. برای مثال:

```
throw -1;
```

همچنین یک دستور throw باید در بلوک try و catch اجرا شود. بلوک try برای بررسی وجود استثنا قرار میگیرد. این بلوک زمانی که ایجاد استثنا را مشاهده کرد، آن را جهت مدیریت، به بلوک catch مناسب انتقال میدهد.
برای مثال:

```
try{
   throw 5;
} catch(int e) {
   // …
}
```

بلوک catch باید مستقیماً بعد از try قرار گیرد. همچنین برخلاف try میتوان بیش از یک بلوک catch بعد از try قرار داد.
مثال ۱) در این برنامه، یک تابع جهت محاسبهی حاصل تقسیم دو عدد تعریف شده. در صورتی که پارامتر دوم این تابع صفر باشد (صفر بودن مقسوم علیه)، یک استثنا از نوع رشته برمیگرداند.

```
#include <iostream>
using namespace std;

double division(double a, double b){
   if(b == 0)
      throw "can't divide by 0\n";
   else
      return a/b;
}
```

```
int main() {
   try {
      cout << division(4, 5) << '\n';
      cout << division(4, 0) << '\n';
   } catch(const char *e) {
      cout << e << '\n';
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
0.8
can't divide by 0
```

توضیح) در تابع division متناسب با نوع عبارت بعد از throw (رشته)، پارامتر بلوک catch را از نوع const char * تعیین کردیم تا در این بلوک قابل دریافت باشد.

در اعلان پارامتر catch، میتوان فقط نوع استثنا را نوشت. در این صورت بلوک catch فقط با ایجاد استثنا و بدون دریافت مقدار آن اجرا میشود. برای مثال:

```
try {
    throw 1;
} catch(int){
    cout << "int exception was caught\n";
}
```

بلوک try به ازای نوع‌های مختلف throw می‌تواند catch های مختلف اجرا کند. برای مثال:

```
try{

} catch (int e) { // catchs ints

} catch (MyClass e){ // catchs MyClass objects

} // …
```

همچنین استثنایی که توسط throw ایجاد میشود میتواند از هر نوعی کــه بتــوان آن را کپی کرد و یا انتقال داد باشد (مثلا شی MyClass در دستورات بالا).

زمانی که یک استثنا throwشده در برنامه نهایتاً نتواند دریافت شــود، برنامــه با اجــرای std::terminate() متوقف میشود. برای مثال:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main() {
    throw 4;
    cout << "program is already terminated.\n";
}
```

در این دستورات، خط شامل cout اجرا نمیشود.

مثال ۲)

```
#include <iostream>
using namespace std;

void f(){
   try {
      throw 1;
     cout << "this line won’t be printed\n";
   } catch(int){
      cout << "exception caught from f\n";
   }
}

int main() {
   try {
      f();
   } catch(int) {
      cout << "exception caught from main\n";
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
exception caught from f
```

توضیح) در این برنامه، استثنا توسط بلوک catch موجود در تابع main دریافت نمیشود: زیرا بلوک catch در f این کار را زودتر انجام خواهد داد. همانطور که در این مثال دیده میشود، چند بلوک try-catch میتوانند درون هم قرار گیرند و نحوهی اجرای catch را نیز مشاهده کردیم: با ایجاد استثنا در بلوک try، برنامه با نادیده گرفتن ادامهی دستورات، به اولین بلوک catchای که بتواند آن را دریافت کند منتقل میشود. با اجرای بلوک catch در این فرآیند، متغیرهای اتوماتیکی که از ابتدای بلوک try ساخته شدهاند بر خلاف ترتیب اشغال آنها در حافظه از بین میروند. این فرآیند، stack unwinding نام دارد. برای مثال:

```
try{
   int a, b;
   throw 1;
} catch(int e){
   //…
}
```

با ایجاد استثنا با دستور throw 1، برنامه به بلوک catch انتقال مییابد و به ترتیب متغیرهای b و a نیز از بین میروند. این نحوهی عملکرد بلوکهای try و catch در بعضی از برنامهها مجر به نشت حافظه (memory leak) میشود. برای مثال در تابع main زیر:

```
int main(){
   try {
      int *a{new int};
      throw 10;
      delete a; // never gets executed!
   } catch(int) {
       // ...
   }
```

```
}
```

دستور throw قبل از دستور delete a; اجرا میشود در نتیجه شی مورد اشاره‌ی a از بین نخواهد رفت. این نوع نشت حافظه در برنامه هایی که در اول بلوک try منـــابع را ایجاد و در آخر try آنها را آزاد میکنند رخ خواهد داد. زیرا در بلوکهای بزرگ (مثل اکثر توابع) احتمال ایجاد یک استثنا در بین این دستورات کم نیست.

در C++ برای جلوگیری از نشت حافظه با بوجود آمدن استثنا، از تکنیک RAII[1] استفاده میشود. در تکنیک RAII، منابعی که در یک شی میخواهنـد اشـغال شـوند در سازنده و آزاد کردن آنها در مخرب صورت میگیرد. در این حالت شی اتوماتیک این انـواع داده‌ها، با ایجاد استثنا و از بین رفتنشان، منابعی که اشـغال کردهانـد را نـیز بـه طـور خودکـار (با فراخوانی مخربشان) آزاد میکنند.

مثال ۳)

```
#include <iostream>
using namespace std;

class MyClass{
   int *a;
   public:
      MyClass(): a{new int}{
         cout << "created\n";
      }
      ~MyClass(){
         delete a;
         cout << "destroyed\n";
      }
};

int main() {
   try{
      MyClass m;
```

[1]. Resource Acquisition Is Initialization

```
      throw 1;
   } catch(int) {
      cout << "exception caught\n";
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
created
destroyed
exception caught
```

توضیح) در این مثال با اجرای دستور throw 1; منبع تخصیص یافته در شی m به طور خودکار و با اجرای مخرب آزاد میشود. در این تکنیک، مخرب به طور مستقل از ایجاد استثنا اجرا خواهد شد.

برای دریافت استثنا در catch از هر نوع داده، با قرار دادن الیپسیس[1] (سه نقطه (...)) در پارامتر آن این کار میسر میشود. برای مثال:

```
try {
  // code
}
catch (int) { cout << "an int caught."; }
catch (cosnt char*) { cout << "a string caught"; }
catch (...) { cout << "default exception"; }
```

در صورت وجود بلوک catch(...) در بین چند بلوک catch، باید این بلوک آخرین آنها نوشته شود. برای مثال، دستورات زیر غلط است:

```
try{
    throw 1;
} catch(…){ // error

} catch(int) {

}
```

[1]. Ellipsis

اگر بلوک catch نتواند خطا را به طور کامل مدیریت کند، میتواند آن را دوباره throw کند تا در سطح بالاتری از try مدیریت شود. throw کردن دوبارهی خطا توسط عبارت throw; بدون قرار دادن مقداری مقابل آن صورت می‌گیرد. برای مثال:

```
try {
   // …

} catch(err){
   log("error msg");
   throw;
}
```

دستور throw; در catch و یا در تابعی که در catch فراخوانی می‌شود می‌تواند نوشته شود. در بلوک catch(...) نیز معمولا دستور throw; وجود دارد.

بعضی از توابع در برنامه استثنا ایجاد نمی‌کنند. اینگونه توابع را با قرار دادن واژه‌ی noexcept بعد از پارامتر آنها می‌توان از نوع **توابع noexcept** تعیین کرد. برای مثال:

```
void f() noexcept;
```

توابع noexcept به کمپایلر این امکان را میدهند که خروجی بهینه تولید کنند. به علاوه، برنامه نویس نیز مطلع می‌شود آیا نیاز به مدیریت خطا با قرار دادن فراخوانی این توابع در try هست یا خیر. واژهی noexcept هم در اعلان و هم در تعریف تابع باید نوشته شود. اگر تابع noexcept در حین اجرا استثنا ایجاد کند، برنامه با اجرای std::terminate() متوقف می‌شود. توجه شود ایجاد استثنا در توابع noexcept با کمپایل برنامه چک نمی‌شود و فقط در اجرای آن‌ها ایجاد مشکل خواهد کرد. تعیین کنندهی noexcept با () نیز میتوان نوشته شود. در این فرم اگر عبارت درون ()، true باشد تابع از نوع noexcept و در غیر این صورت از نوع تابع عادی تعیین میشود.

برای مثال:

```
template <typname T>
void f(T &x) noexcept(is_fundamental<T>::value);
```

نوشتن noexcept بـدون پرانـتز بـه معـنی noexcept(**true**) اسـت. عبارت درون پرانتز () نیز باید از نوع ثابت باشد.

علاوه بر تعیینکنندهی noexcept، یک **اپراتور** به اسم noexcept() نیز موجود اسـت. اگر عبارت این اپراتور استثنا ایجاد نکند true و در غـیر این صـورت false برمیگردد. برای مثال:

```
void f(int a) noexcept(noexcept(g(a));
```

اپراتور **noexcept**(g(a))، ایجاد استثنا در تابع g را به ازای ورودی a بررسی میکند؛ در صورت برقراری، مقدار true برمیگردد و با true بودن پرانتز مقابل تعیین کننـدهی noexcept، تابع f را از نوع noexcept تعیین میکند. در غـیر این صـورت تـابع f از نوع عادی تعیین خواهد شد.

به عنوان یک قاعدهی کلی، هر تـابعی کـه در برنامـه اسـتثنا ایجاد نمیکنـد بایـد از نـوع noexcept تعیین شود. توجه شود اگر بدنهی تـابعی مسـتقیم شـامل دسـتور throw نباشد، بازهم میتواند استثنا ایجاد کند. برای مثال تابع زیر:

```
void f(){
   vector<int> v(50);
}
```

دستور شامل اعلان vector میتواند منجر به تولیـد اسـتثنا شـود. در نتیجـه این توابـع نباید از نوع noexcept تعیین شوند.

کلاس std::exception

با کلاس std::exception میتوان مدیریت خطاها را با رابط ثـابت انجام داد. بـرای مثـال اگر اپراتـور new در تخصـیص فضـا دچار خطـا شـود، اسـتثنا را از نـوع std::bad_alloc برمیگردانـد. کلاس std::bad_alloc و ۲۵ کلاس دیگر

مشتق از std::exceptionاند که در کتابخانه‌ی استاندارد برای ایجاد استثنا استفاده میشود. کلاس std::exception در هِدِر <exception> قرار دارد.

مثال ۴)

```
#include <iostream>
#include <exception>
using namespace std;

int main() {
   try {
      int *a{new int[1000000000000]};
   } catch(exception &e){
      cout << e.what() << '\n';
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
std::bad_alloc
```

توضیح) در بلوک try یک دستور تخصیص حافظه با new نوشتیم که باعث throwشدن خطای std::bad_alloc میشود. توجه شود که پارامترهای از نوع std::exception از نوع رفرنس اعلان میشوند (مانند e در این مثال) تا اشیای مشتق شده از آن نیز (مانند std::bad_alloc) قابل دریافت باشند. در این مثال پس از دریافت شی std::bad_alloc توسط e، متن خطا را با تابع عضو what() نمایش دادیم.

در برنامه به طور کلی توصیه می‌شود که در صورت نیاز به تعریف یک کلاس مجزا برای کار با استثناها، آن را طوری تعریف کنید که مشتق از std::exception یا از کلاس‌های دیگر <exception> باشند. در این صورت catch کردن خطا از این نوع، با شی std::exception می‌تواند صورت گیرد.

مثال ۶) در این مثال، یک کلاس جهت کار با استثناها تعریف و مشتق از std::exce

ption میکـنیم. تـابع what() این کلاس جهت بازگردانی یـک پیام دلخـواه نادیـده گرفته شده (override) شده است:

```
#include <iostream>
#include <exception>
using namespace std;

class CustomException: public exception {
   virtual const char* what() const noexcept {
      return "Custom error message goes here.";
   }
};

int main() {
   try {
      throw CustomException();
   }catch(exception &e){
      cout << e.what() << '\n';
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
Custom error message goes here.
```

توضیح) یک کلاس برای مدیریت استثنا در یک برنامه‌ی کاربردی، صرفا برای نمایش یک رشته‌ی دلخواه ایجاد نمی‌شود. بـرای این کـار از اسـتثنای std::runtime_error میتوان استفاده کرد:

```
throw std::runtime_error("custom msg");
```

این کلاس در سازنده‌ی خود یـک رشـته‌ی دلخـواه می‌گـیرد و ماننـد بقیه‌ی کلاس‌های استثنا نهایتا از std::exception مشتق شـده اسـت. هـدف از تعریـف یـک کلاس جداگانه برای استثناها، مـدیریت خطاهایی اسـت کـه متناسب با برنامـه نیاز بـه عملکرد خاصی نیز دارند.

تابع division از *مثال ۱* را میتوان با کلاسهای استاندارد بازنویسی کرد:

```
double division(double a, double b){
   if(b != 0)
      return a/b;
   else
      throw std::invalid_argument{"can't divide by
0"};
}
```

جهت اطلاع از بقیهی کلاسهای استاندارد استثنا میتوانید به رفرنس C++ مراجعه کنید.

اینواریانت[1]

اگر یک کلاس ساده برای پیاده کردن آرایه با کلاسها - مثل std::array - داشته باشیم (برای سادگی array از نوع قالب نیست):

```
class array {
   int s;
   int* a;
public:
   array(int s);
   int& operator[](int i);
   // …
};


array::array(int size){
   if(size < 0) throw std::length_error{};
   a = new int[size];
   s = size;
}

int& array::operator[](int i){
   if(0 <= i && i < s)
```

[1]. Invariant

```
   throw std::out_of_range{"Subscript operator"};
   return a[i];
}
```

اپراتور [] در این کلاس، رفرنس به عنصر مورد نظر را با فرض اینکه **a به آرایهای از int ها با سایز S** اشاره میکند برمیگرداند. توابع عضو دیگر این کلاس نیز با این فرض نوشته خواهند شد. به دستوراتی که با فرض درست بودن آنها در کلاس استفاده میشوند، اینواریانت گفته میشود. در این کلاس، اگر سایز تعیین شده منفی باشد و یا هنگام تخصیص حافظه با new مشکلی ایجاد شود، سازنده با ایجاد استثنا، شی ساخته نخواهد شد. در نتیجه اپراتور [] که برای دسترسی به عنصرهای مختلف آرایه سربارگذاری شده، فقط صحیح بودن شمارهی عنصر مورد نظر را (بین ۰ و آخرین عنصر) بررسی میکند و سپس بدون نیاز به بررسی صحیح بودن آرایه (اینواریانت)، عنصر مورد نظر از آن را برمیگرداند. در یک کلاس به طور کلی، سازنده وظیفه ایجاد کردن اینواریانتها و توابع آن وظیفه حفظ کردن اینواریانتها بعد از خروج برنامه از آنها را دارد.

assert و static_assert

با ایجاد استثناء، بروز خطا به برنامه گزارش می‌شود. از assert و static_assert میتوان برای گزارش خطا به برنامه نویس استفاده کرد. این خطاها معمولا از نوع خطاهاییست که از نظر منطقی غیر ممکنانـد و در صورت وجود، مشکلات اساسی در برنامه وجود دارند. assert برای بررسی شرط در حین اجرا و static_assert در حین کمپایل استفاده میشوند. همچنین شرایطی که در assert و static_assert بررسی میشوند با فرض این است که به طور پیش فرض صحیحاند. برای مثال:

```
#include <iostream>
#include <cassert>
using namespace std;

void f(int *p){
   assert(p != nullptr);
```

```
   // ...
}

int main(){
   int a{10};
   int *p1 = &a, *p2;
   f(p1);
   f(p2);
}
```

برنامه را کمپایل کنید تا خروجی مشابه زیر تولید شود:

```
6: void f(int*): Assertion `p != nullptr' failed.
```

توضیح) با فرض اینکه تعریف تابع f فقط برای اشارهگرهای غیر nullptr صحیح است، در این مثال با assert این شرط را در حین اجرا بررسی کردیم. assert یک ماکرو از هِدِر <cassert> است؛ در نتیجه باید بدون std:: استفاده شود. این ماکرو در صورت غلط بودن شرط، اسم خط، تابع و ... را نمایش می‌دهد و برنامه را نیز از اجرا متوقف میکند. assertها به طور کلی برای دیباگ کردن برنامه استفاده میشوند و در هنگام کمپایل نهایی با تعریف ماکروی NDEBUG با دستور زیر:

```
#define NDEBUG
```

اجرای assertها نیز متوقف شود. بدون تعریف مستقیم ماکروی NDEBUG نیز در کمپایلرهای مختلف می‌توان آن را در هنگام کمپایل تعریف شده قرار داد. مثلاً در g++ با قرار دادن گزینهی -NDEBUG مانند:

```
g++ main.cpp -o main -NDEBUG
```

ماکروی NDEBUG در برنامه تعریف میشود. همچنین به دلیل اینکه از assert فقط برای دیباگ کردن استفاده می‌شود، نباید شامل عباراتی باشند که اشیای برنامه را تغییر می‌دهند و یا به طور کلی *اثر جانبی* ایجاد میکنند: زیرا خارج از دیباگ کردن اجرا نخواهند شد. مثل:

```
assert(x = f()); //  bad
```

در assert با قرار دادن && در شرط میتوان در صورت غلط بودن، رشتهای را نـــیز در خروجی نمایش داد. مثلاً:

```
assert(a == b && "a and b should be equal.");
```

مثال ۵) در این مثـال یـک نـوع داده ایجاد میشـود کـه فقـط پارامترهای قـالب pod را میپـذیرد[1]. از static_assert بـرای بررسـی یـک شرط در حین کمپایـل اسـتفاده میشود.

```
#include <cassert>
#include <type_traits>
using namespace std;

template<typename T>
class MyClass {
    static_assert(std::is_pod<T>::value, "T should be
POD");
};

class A {
   int x1;
public:
   int x2;
};

int main(){
   MyClass<int> m1;
   MyClass<A> m2;
}
```

برنامه را کمپایل کنید تا خروجی مشابه زیر تولید شود:

```
error: static assertion failed: T should be POD
```

توضیح) همانطور که در خروجی دیده می‌شود با غلط بـودن شرط، رشـتهای در خروجی نمایش می‌یابد و کمپایل متوقف میشـود. در C++17 قسـمت پیام static_assert اختیاری است.

[1] انواع pod مخفف (Plain Old Data) انواعی هستند که با انواع مورد استفاده در زبان C سازگارند.

از استثناها به طور معمول برای بررسی قسمتهای خارجی برنامه (مثلاً توابع public کلاسها) و از assertها برای قسمتهای داخلی و جهت مطلع کردن برنامه نویس قرار میگیرند.

کار با حافظه (۲) (اشارهگرهای هوشمند)[1]

اشارهگرهای عادی (raw pointers) چندین ضعف دارند. مهمترین آنها عبارتاند از:

۱. اعلان آنها مشخص نمیکند که اشارهگر به یک شی و یا به یک آرایه اشاره میکند. این ویژگی علاوه بر تفاوت در نحوهی استفاده از آنها، در نحوهی آزاد کردن آنها (با delete ویا delete []) نیز تاثیر میگذارد.

۲. اعلان آنها مشخص نمیکند کجای برنامه وظیفهی آزاد کردن فضای آن را بر عهده دارد؛ به عبارت دیگر کدام قسمت از برنامه مالک آن فضا است.

۳. تضمینی در اجرای دستور delete (نوشته شده) نیست (برای مثال در یک تابع ممکن است قبل رسیدن به دستور delete، به دستور return برسد. البته چنین مشکلاتی از طرف برنامه نویس ایجاد میشود ولی در برنامه هایی که شامل تعداد زیادی اشارهگر است، این مشکلات نادر نیستند).

۴. در حالت عادی امکان تشخیص اشارهگر معلق (dangling pointer) وجود ندارد. این نوع اشارهگرها زمانی ایجاد میشوند که شی مورد اشاره از بین رفته ولی اشارهگر هنوز به فضای آن اشاره میکند.

۵. با اعلان اشارهگر raw به عنوان متغیرهای عضو، به طور معمول پیادهسازی توابع عضو خاص (شامل سازندهی copy ، انتسابcopy ، ...) باید توسط برنامه نویس صورت گیرد و کمپایلر تولید نخواهد کرد.

برای حل این مشکلات در هِدِر <memory>، اشارهگرهایی تحت عنوان اشارهگرهای هوشمند اضافه شدند، که شامل:

1. unique_ptr
2. weak_ptr
3. shared_ptr

است. اشارهگرهای هوشمند با قالب کلاس نوشته شدهاند و خود شامل اشارهگر عادی (raw)اند. اشارهگرهای هوشمند مدیریت فضاهای دینامیک ایجاد شده را توسط مدل

[1]. Smart pointers

RAII مدیریت میکنند: به این معنی که فرآینـد delete بـه طـور خودکـار و با ازبین رفتن شی صورت میگیرد. اپراتورهای این اشیا طوری سربارگذاری شده که استفاده از آنها مشابه اشارهگرهای raw است (* و -> دیرفرنس میکند و ...)

std::unique_ptr

شی unique_ptr مالکیت فضای مورد اشاره را به صـورت انحصاری (exclusive) کنترل میکند. به این معنا که در هر زمان، فقط یک شی unique_ptr میتواند بـه آن فضا اشاره کند. زمانی که شی unique_ptr از بین میـرود (از ناحیـه خـارج میشـود)، فضای مورد اشاره آن به طور خودکار آزاد خواهد شد.

اعلان متغیر از std::unique_ptr به صورت انجام میگیرد:

```
#include <memory>
…
std::unique_ptr<dataType> p;
```

dataType نوع دادهایست که p میخواهد اشاره کند.

مثال ۱)

```
#include <iostream>
#include <memory>
using namespace std;
int main() {
   unique_ptr<int> p(new int);
   *p = 100;
   cout << *p << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
100
```

توضیح) فضای ایجاد شده با new، به سازنده شی p پاس داده میشود. سپس اشـارهگر p نیز به طور خودکار فضای ایجاد شده را delete می‌کند.

مثال ۲) مثالی که نحوهی استفاده از شی unique_ptr را برای ذخیرهی آرایـه نشـان میدهد:

```
#include <iostream>
#include <memory>
using namespace std;

int main() {
   constexpr int size = 10;
   unique_ptr<int[]> a(new int[size]);

   for (size_t i = 0; i < 10; ++i) {
      a[i] = i;
   }

   for (size_t i = 0; i < size; ++i) {
      cout << i << ": " << a[i] << '\n';
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
0: 0
1: 1
2: 2
3: 3
4: 4
```

توضیح) با وجود اینکه برای ذخیرهی مجموعهای از عناصر، جایگزینهای مناسبتری مثـل std::array و std::vector وجود دارد، از این نوع آرایه برای apiهای زبان C (یا قدیمی C++) که اشارهگر raw به فضـای heap برمیگردانـند میتـوان اسـتفاده کرد. لازم به ذکر اسـت شـی std::vector یا std::array حجم بیشـتری نسبت بـه آرایهی ذخیره شده با unique_ptr اشغال میکنند (با تفاوت چند بایت). در نتیجه در مواقعی که منابع سیستم کم و تعداد اشیای مورد نیاز زیاد است میتواند جاگزین مناسبی

باشد.

با فراخوانی تابع عضو reset() بدون پارامتر، میتوان شیِ مورد اشارهی unique_ptr را delete کرد. با فراخوانی reset() و پاس دادن یک اشارهگر، علاوه بهdelete شدن فضای شی unique_ptr، به فضای جدید پاس داده شده اشاره خواهد کرد. همچنین با فراخوانی تابع عضو release() شی unique_ptr، اشارهگر مورد ذخیرهی خود را برمیگرداند و به nullptr اشاره خواهد کرد.

مثال ۳)

```
#include <iostream>
#include <memory>
using namespace std;

int main() {
   unique_ptr<string> p1(new string("string"));
   unique_ptr<string> p2(p1.release());
   unique_ptr<string> p3;
   p3.reset(p2.release());
   cout << *p3 << '\n';
   if(!p1){
      cout << “p1’s object is destructed\n”;
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
string
p1's object is destructed.
```

توضیح) عملکرد توابع عضو مذکور در این برنامه بررسی شدند. در شی unique_ptr، اپراتور bool در صورت اشارهی اشارهگر به فضا، true و در غیر این صورت false را برمیگرداند. از این اپراتور در ساختار if استفاده شد.

توجه شود در صورتی که اشارهگر بازگشتی از تابع release() در اشارهگر عادی

ذخیره شود، مسئولیت delete کردن فضای برگشته به عهدهی برنامه نویس خواهد بود و به طور خودکار انجام نمی شود. برای مثال:

```
auto p = p1.release();
delete p;
```

همچنین شی unique_ptr را فقط میتوان انتقال داد و کپی کردن آن امکانپذیر نیست زیرا در این حالت فضای شی چند بار delete خواهند شد. برای مثال:

```
std::unique_ptr<int> a(new int);
std::unique_ptr<int> b;
b = std::move(a);
```

شی a به b منتقل میشود و a برابر با nullptr قرار خواهدگرفت. با تابع عضو release نیز فرآیند مشابهی انجام میشود. برای مثال:

```
std::unique_ptr<int> a(new int);
std::unique_ptr<int> b;
b.reset(a.release());
```

در حین ساخت شی از unique_ptr میتوان با پاس دادن تابع (یا شی تابع و لامبدا)، فرآیند از بین رفتن شی را به طور دلخواه تغییر داد. برای مثال در دستورات زیر:

```
auto customDeleter = [](Class *po)
                        {
                            makeLog(po);
                            delete po;
                        }
unique_ptr<Class, decltype(customDeleter)> p(new
Class);
```

از delete شدن فضای p، با تابع فرضی makeLog لاگ گرفته میشود. همانطور که در این دستورات دیده میشود، نوع deleter غیر پیش فرض باید به عنوان آرگومان دوم قالب std::unique_ptr نوشته شود. تمام deleteهای غیر پیشفرض، فضای مورد اشاره را از طریق اشارهگر دریافت میکنند و فرآیند مناسب را پیش از

delete کردن انجام میدهند. این فرآینـد میتوانـد شـامل log گرفتن، بسـتن ارتباط شبکه، بستن فایل و ... باشد.

std::make_unique()

به جای ساخت شی با استفاده از new مانند:

```
unique_ptr<int> p(new int);
```

میتوان با تابع std::make_unique() شی unique_ptr ایجاد کرد:

```
unique_ptr<int> p(make_unique<int>());
```

هنگام استفاده از make_unique() به دلیل اینکـه این تـابع، شـی unique_ptr را برمیگرداند، اعلان و مقداردهی اولیهی شی unique_ptr را با نوع auto میتوان انجام داد. برای نمونه:

```
std::unique_ptr<Class> p1(new Widget);
auto p2(std::make_unique<Class>());
```

در دستور دوم auto جایگزین شده است.

make_unique یک محدودیت دارد: امکـان مشـخص کردن تـابع deleter وجـود ندارد؛ ولی با new این کار امکان پذیر است. برای مثال:

```
auto CustomDeleter = [](MyClass *m) { … };
unique_ptr< MyClass, decltype(CustomDeleter)>  p(new
MyClass, CustomDeleter)
```

مثال ۴) برنامهای کـه ذخـیرهی اشـارهگر unique_ptr در یـک vector را نشـان میدهد.

```
#include <iostream>
#include <memory>
#include <vector>
using namespace std;

int main() {
```

```
    vector<unique_ptr<int>> v;
    unique_ptr<int> u = make_unique<int>(5);
    v.push_back(move(u));
    cout << *v[0] << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
5
```

یکی از کاربردهای معمول unique_ptr در نوع بازگشتی توابع است. برای مثال در تابعی میتواند استفاده شود که آرگومان (از نوع string، int و ...) دریافت میکند و با توجه به id و یا متن رشته، اشارهگر کلاس پایه به شی مشتق مناسب را برمیگرداند. این نوع توابع، متدهای فکتوری (factory methods) نام دارند. همچنین این توابع غیر از آرگومان ذکر شده (برای تشخصی شی مشتق مناسب)، آرگومانهای مورد نیاز برای ساخت شی مشتق را نیز دریافت میکنند.

در شی unique_ptr چند تابع عضو، غیر از مواردی که بررسی کردیم موجود است؛ تابع عضو get، اشارهگر شی مورد اشاره را برمیگرداند. این تابع عضو در پاس دادن اشارهگر raw به یک تابع (مثلاً تابع C) مورد استفاده قرار میگیرد. تابع عضو deleter، get_deleter شی را برمیگرداند. تابع عضو swap فضاهای مورد اشاره و deleter دو اشارهگر unique_ptr را با هم جابجا می‌کند.

std::shared_ptr

فضای موردِ اشارهی شی shared_ptr برخلاف unique_ptr میتواند همزمان مورد اشارهی چند shared_ptr قرار گیرد.

فرمت تعریف شی shared_ptr به صورت زیر است:

```
#include <memory>
…
std::unique_ptr<dataType> p;
```

مثال ۵) برنامه‌ای که شامل یک اشارهگر shared_ptr است:

```
#include <iostream>
#include <memory>
using namespace std;

int main() {
   shared_ptr<int> p(new int);
   *p = 44;
   cout << *p << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
44
```

عملکرد reset() و release() در شـــی shared_ptr مانننـــد unique_ptr است.

برنامه فضای مورد اشارهی shared_ptr را زمانی delete میکنـد کـه آخرین شـی shared_ptr که به آن فضا اشاره میکند از بین رود. برنامه این ارزیابی را با استفاده از یک شمارندهی شی shared_ptr انجام میدهد. این شمارنده، **عدد رفرنس**[1] نام دارد و با اجرا شدن سازندهی شی shared_ptr یکی به مقـدارش افزوده و با اجـرای مخرب یکی از مقدارش کم میشود. اپراتورکپی assignment میتواند مقدار عدد رفرنس را هم زیاد و هم کم کند. به این معنی که وقتی عبارت زیر را مینویسیم:

```
p1 = p2;
```

و p1 و p2 به دو شی جداگانه اشـاره کننـد، از عـدد رفرنس شـی p1 کـاهش و بـه p2 افزوده میشود.

زمانی که برنامه با کم کردن عـدد رفرنس آن را بـه صـفر برساند، منبـع مـورد اشـارهی shared_ptr را delete میکند. امکان انتقال اشـیای shared_ptr (با سازنده یا اپراتور =) مانند unique_ptr وجود دارد؛ در این نوع فرآیند، مقدار عدد رفرنس کم یا

[1]. Reference count

زیاد نمیشود (زیرا با فرآیند انتقال، شی به فضای جدید و شی قبلی به nullptr اشارهخواهد داد). با فراخوانی تابع use_count() به مقدار عدد رفرنس میتوان دست یافت.

مثال ۶)

```
#include <memory>
#include <iostream>
using namespace std;

int main(){
   shared_ptr<int> p1(new int);
   shared_ptr<int> p2 = p1;
   cout << p1.use_count() << '\n';
   cout << p2.use_count() << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
2
2
```

حجم شی shared_ptr به دلیل شامل عدد رفرنس است، دوبرابر حجم یک اشارهگر raw فضا اشغال میکند (زیرا ۲ اشارهگر باید ذخیره کند). همچنین مقدار عدد رفرنس میتواند همزمان در چند thread کم و زیاد شود؛ به همین دلیل این فرآیند به صورت atomic[1] انجام میشود. فرآیندهای atomic کندتر از غیر atomic است.

برای شی shared_ptr، مانند unique_ptr میتوان deleter غیر پیش فرض تعیین کرد. با این تفاوت که در shared_ptr، deleter جز نوع اشارهگر نیست. برای مثال:

```
auto customDeleter = [](Class *po){
                              makeLog(po);
                              delete po;
```

[1] در این کتاب به فرآیندهای atomic و به طور کلی پردازش موازی پرداخته نمیشود.

```
                                    }
unique_ptr<Class, decltype(customDeleter)> up(new
Class, customDeleter);
shared_ptr<Class> sp(new Class, customDeleter);
```

امتیاز طراحی shared_ptr نسبت به unique_ptr در یکسان بودن نوع shared_ptrها (با deleterهای مختلف) است. نتیجتاً میتوان اشیای مختلف shared_ptr از یک نوع را (با deleterهای متفاوت) در یک کانتینر ذخیره کرد و یا به یک توابع پاس داد. در شی shared_ptr برخلاف unique_ptr، سایز deleter تاثیری در حجم شی shared_ptr ندارد.

همچنین تابع عضو make_shared مشابه make_unique ولی برای شی shared_ptr است. ویژگی و محدودیتهای این تابع نیز مانند make_unique است. برای مثال:

```
auto p = make_shared<int>(5);
```

همانطور که پیشتر گفته شد، شی shared_ptr شامل دو اشارهگر است، یکی از آنها به فضای مورد اشاره و دیگری به عدد رفرنس اشاره می‌کند. اشارهگر دوم علاوه بر عدد رفرنس به قسمت بزرگتری به اسم **بلوک کنترل**[1] اشاره میکند. بلوک کنترل غیر از عدد رفرنس شامل کپی deleter (اگر قرار گرفته باشد)، تخصیص دهنده و شمارندهی weak (ادامهی فصل) نیز میشود. بلوک کنترل با make_shared و یا پاس دادن اشارهگر raw به سازندهی شی shared_ptr ایجاد میشود (و یا از طریق مقداردهی توسط شی unique_ptr. زیرا شی shared_ptr با مقداردهی توسط شی unique_ptr سازگار است، ولی برعکس آن صحیح نیست). به این ترتیب برای جلوگی از ایجاد چند بلوک کنترل و ایجاد چند عدد رفرنس جداگانه، **از یک اشارهگر raw نباید در ساخت چند شی مختلف shared_ptr استفاده شود**. برای مثال:

```
int *i = new int;
```

[1]. Control block

```
shared_ptr<int> s1(i);
shared_ptr<int> s2(i); // undefined behaviour
```

زیرا در این صورت با وجود چند عدد رفرنس مجزا، با صفر شدن هر کدام برنامه سعی در deleteکردن فضای اشارهگر (در اینجا i) میکند. در چند بار delete شدن یک فضا، ایجاد undefined behaviour میشود. در صورت نیاز به پاس دادن اشارهگر raw (مثلاً تعیین deleter که با make_shared امکان پذیر نیست)، خروجی new را مستقیم به سازنده شی shared_ptr ارسال کنید. برای مثال:

```
shared_ptr<int> s1(new int, customDeleter); // ok
```

در یکی از موارد دیگر که پاس دادن اشارهگر raw باعث بروز مشکل میشود، در ساخت شی shared_ptr در تابع عضوی است که میخواهد به شی this اشاره کند. برای مثال در دستورات زیر[1]:

```
#include <memory>
#include <iostream>
using namespace std;
class MyClass {
public:
   shared_ptr<MyClass> f()
   {
      return shared_ptr<MyClass>(this); // bad
   }
};

int main(){
   shared_ptr<MyClass> p1(new MyClass);
   shared_ptr<MyClass> p2 = p1->f(); // error
}
```

به دلیل اینکه در تابع عضو f برای ساخت شی shared_ptr از اشارهگر this استفاده میشود، شیای را این تابع برمیگردد عدد رفرنس متفاوتی نسبت به شی اصلی

[1] این مبحث جز قسمتهای پیشرفته و با کاربرد خاص C++ است؛ لزا در صورت تمایل از آن بگذرید.

دارد؛ زیرا با پاس دادن اشارهگر this، یک shared_ptr با بلوک کنترل جدید ایجاد میشود. برای حل این مشکل، باید کلاس را از std::enable_shared_from_this مشتق کرد؛ سپس در محل مورد نیاز تابع shared_from_this برای ایجاد shared_ptr فراخوانی شود. مثال قبل به صورت زیر بازنویسی میشود:

```
#include <memory>
#include <iostream>
using namespace std;
class MyClass: public
enable_shared_from_this<MyClass> {
public:
   shared_ptr<MyClass> f() {
      return shared_from_this(); // OK
   }
};

int main(){
   shared_ptr<MyClass> p1(new MyClass);
   shared_ptr<MyClass> p2 = p1->f();
}
```

توجه شود که کلاس باید از قالب کلاس enable_shared_from_this و با نوشتن نام آن در <> مقابلش مشتق شود[1]. تابع shared_from_this، از نظر ساختاری، shared_ptr جدیدی میسازد که بلوک کنترل آن با شی unique_ptr فعلی یکی است. طراحی این تابع به گونهای است که روی بلوک کنترل شی unique_ptr فعلی تکیه میکند.

std::weak_ptr

اشارهگر std::weak_ptr، تکمیل کنندهی shared_ptr است. این اشارهگر

[1] این نوع مشتق کردن CRTP (مخفف Curiously Recurring Template Pattern) نام دارد.

میتواند به فضای shared_ptr موجود اشاره کند ولی مقدار عدد رفرنس شی shared_ptr را تغییر نمیدهد.

مثال ۷)

```
#include <memory>
#include <iostream>
using namespace std;

int main(){
   shared_ptr<int> p = make_shared<int>();
   weak_ptr<int> w(p);
   cout << p.use_count() << '\n';
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
1
```

اگر فضای shared_ptrای که weak_ptr به آن اشاره میکند از بین رود، شی weak_ptr اصطلاحا معلق میشود (به این معنا که به فضایی اشاره میکند که از بین رفته است). برای بررسی معلق بودن شی weak_ptr، از تابع عضو expired() میتوان استفاده کرد. پس از بررسی با این تابع عضو، برای استفاده از فضای weak_ptr میتوان تابع عضو lock() را فراخوانی کرد (زیرا خود شی weak_ptr اپراتورهای دیرفرنس کردن ندارد). تابع عضو lock()، شی shared_ptr را به فضا – و یا nullptr را در صورت معلق بودن–برمیگرداند.

مثال)

```
#include <memory>
#include <iostream>
using namespace std;

int main(){
   shared_ptr<int> p = make_shared<int>(10);
   weak_ptr<int> w(p);
```

```
   if(!w.expired()){
      shared_ptr<int> p2 = w.lock();
      cout << *p2 << '\n';
   }
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
10
```

برای ساخت shared_ptr از weak_ptr غیر از lock() با پاس دادن شی weak_ptr به سازندهی شی shared_ptr نیز میتوان استفاده کرد. اگر در این روش شی weak_ptr معلق باشد، استثنای std::bad_weak_ptr برخواهد گشت. برای مثال:

```
shared_ptr<int> p = make_shared<int>(10);
weak_ptr<int> w(p);
p = nullptr;
shared_ptr<int> p2(w); // std::bad_weak_ptr thrown.
```

یکی از استفادههای weak_ptr، در موقعی است که دو کلاس داشته باشیم و اشیای هر کدام شامل اشارهگری است که به شی دیگری اشاره میکند.

برای مثال:

```
#include <memory>
#include <iostream>
using namespace std;
class B;
class A {
public:
   shared_ptr<B> b;
   ~A() { cout << "~A()"; }
};

class B {
public:
```

```
   shared_ptr<A> a;
   ~B() { cout << "~B()"; }
};

int main() {
   auto ap = std::make_shared<A>();
   auto bp = std::make_shared<B>();
   ap->b = bp;
   bp->a = ap;
}
```

با کمپایل و اجرای این دستورات، کمپایلر پیغامهای مخرب کلاسها را اجرا نمیکند؛ که به این معنیست که اشارهگرهای a و b از بین نمیروند. در این مثال، شی دو کلاس، شامل shared_ptrهایی است که به فضا هم اشاره میکنند. هنگام از بین رفتن این shared_ptrها، از بین رفتن هر کدام وابسته به ازبین رفتن دیگریست و اصطلاحاً رفرنس سیکلی[1] ایجاد میشود. با تغییر یکی از اعضای shared_ptr به weak_ptr، این وابستگی از بین میرود (در طراحی، شی کلاسی را که مالک (owner) شی دیگر است را shared_ptr نگه دارید و دیگری را به weak_ptr تغییر دهید). مثال صحیح آن چنین است:

```
#include <memory>
#include <iostream>
using namespace std;
class B;
class A {
public:
   shared_ptr<B> b;
   int x{10};
   ~A() { cout << "~A()" << '\n'; }
};

class B {
public:
```

[1]. Cyclic reference

```
   weak_ptr<A> a;
   void printx(){
   auto t = a.lock();
   if(t)
       cout << "x = " << t->x << '\n';
   }
   ~B() { cout << "~B()\n"; }
};


int main() {
   auto ap = std::make_shared<A>();
   auto bp = std::make_shared<B>();
   ap->b = bp;
   bp->a = ap;
   bp->printx();
}
```

خروجی برنامه به صورت زیر است:

```
x = 10
~A()
~B()
```

تولید اعداد تصادفی[1]

قبل از C++11، تولید اعداد تصادفی (راندم) در C++ با کتابخانهی زبان C صورت میگرفت. از C++11، هِدِری تحت عنوان <random> افزوده شده، که چندین مزیت نسبت به کتابخانهی C دارد که در این فصل به آنها میپردازیم. به دلیل اینکه تولید اعداد تصادفی با کتابخانهی C به طور گسترده در کدهای قدیمی C++ استفاده شده، ابتدا به بررسی آن میپردازیم.

برای تولید اعداد تصادفی از طریق کتابخانهی C ابتدا هِدِر <cstdlib> باید به برنامه افزوده شود. این هِدِر تابع std::rand() را در دسترس قرار میدهد. با فراخوانی std::rand() یک عدد تصادفی بین بازه 0 و RAND_MAX برمیگردد. RAND_MAX یک ماکرو در cstdlib است که مقدار آن در کمپایلرهای مختلف متفاوت است.

مثال ۱)

```
#include <iostream>
#include <cstdlib>
using namespace std;

int main() {
   for(int i = 0; i < 5; ++i) {
      cout << rand() << '\n';
   }
}n
```

برنامه را کمپایل و اجرا کنید تا خروجی مشابه زیر تولید شود:

```
1968078301
287724083
410622274
558519326
460165363
```

[1] بطور دقیقتر اعداد شبه تصادفی.

توضیح) با کمپایل و اجرای برنامـه، پنج عـدد تصادفی تولیـد میشـود. با اجـرای دوبارهی برنامه، خروجی های مشابهی تولید خواهـد شـد. بـرای ایجاد خروجیهای متفـاوت در هر اجرا، باید تابع std::srand() با یک آرگومان unsigned فراخوانی شـود (بـه این کـار **سـید (seed) کردن** گفتـه میشـود). با پاس دادن مقـداری ثـابت در سـید کردن مقادیری متفاوت از گذشته تولید میشود ولی این مقادیر باز هم با ثابت بودن مقـدار پاس داده شده به std::srand()، یکسان خواهند بود. برای حل این مشکل به جای پاس دادن مقادیر ثابت، از خروجی تـابع std::time(nullptr) (از هِـدِر <ctime>) برای سید کردن srand استفاده میشود. تابع std::time(nullptr) در هر اجرا مقادیر متفاوتی را برمی‌گردانـد کـه بـه سبب تولیـد اعـداد تصادفی متفـاوت در هر اجـرا میشود.[2]

مثال ۲) بازنویسی *مثال ۱* به طوری که در هر اجرا مقادیر جدیدی تولید میشود:

```
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <ctime>
using namespace std;
int main() {
   srand(time(nullptr));
   for(int i = 0; i < 5; ++i) {
      cout << rand() << '\n';
   }
}
```

برنامه را کمپایل و اجرا کنید تا خروجی مشابه زیر تولید شود:

```
1796606603
117391392
1902428578
855479711
1181716800
```

[2] با فراخوانی تابع std::time(nullptr)، زمان گذشته از ۱ ۰۰:۰۰ ژانویهی ۱۹۹۷ به ثانیه برمیگردد.

توضیح) توجه شود که تولید اعـداد تصادفی یکسان همیشـه نـا مطلـوب نیسـت. مثلاً در مقاله های علمی اگر نیاز به مشخص کردن اعداد تصادفی باشد، با مشـخص کردن مقـدار ثابت استفاده شده جهت سـید کردن، برنامـه، روی هر سیسـتمی کـه اجـرا شـود اعـداد تصادفی یکسان تولید خواهد کرد (با شرط یکسان بودن کمپایلر).

به طور کلی در برنامه نویسی برای تولید اعداد تصادفی کمتر از n، بـه طـور گسـترده از اپراتور % بر روی خروجی تابعی که اعداد تصادفی تولید میکنـد (`std::rand()` در C/++C03) استفاده میشود. برای مثال دستور زیر:

```
std::rand() % 6;
```

مقادیر 0، 1، 2، ... 5 را برمیگرداند (چون باقی مانده ی تقسیم هر عدد طبیعی بر 6، یک عدد بدون اعشار بین بازهی بستهی 0 تا 5 است). با استفاده از روش بالا بـه ازای هر n، مقادیر بین 0 تا n−1 با احتمال کاملاً مساوی برنمیگردد. برابر نبودن احتمال بازگشت مقادیر را برای n = 6 اکنون بررسی می کنیم. فرض شـود مقـدار RAND_MAX برابـر 32767 است (که در اکثر کمپایلرها نیز همین مقدار اسـت)؛ در این حالت کـل مقـادیر قابل بازگشت توسط `std::rand()` به صورت زیر میباشد:

0	1	2	3	4	5
6	7	8	.	.	.
.	.	.	.	.	.
36766	36767				

حال با اعمال ٪ ۶، اعداد زیر برمیگردد:

0	1	2	3	4	5
0	1	2	.	.	.
.	.	.	.	.	.
0	1				

همانطور که در جدول دیده میشود احتمال بازگشت اعداد 0 و 1 مقداری بیشتر از بقیـه اعـداد اسـت. فقـط زمانی این احتمال برابـر خواهـد بـود کـه باقی مانـدهی تقسـیم

RAND_MAX بر n، برابر n-1 شود (همهی خانه‌های جدول بالا پر شوند). غیر از مشکل برابر نبودن این احتمال، تابع std::rand() خود نیز در اکثر پیادهسازیها بهترین الگوریتم موجود نیست. اکنون به بررسی قابلیتهای C++11 به بعد برای تولید اعداد تصادفی میپردازیم که مشکلات مذکور را برطرف کرده و قابلیتهای بیشتری نیز اضافه کرده است.

عناصر موجود برای تولید اعداد تصادفی در C++11 به دو عنصر جداگانه تقسیم شده:

1. **انجین** (موتور): نقش انجین، تولید بیت های تصادفی است؛ به گونهای که احتمال تولید هر 0، در حالت اپتیمال، برابر با هر 1 است.
2. **توزیع**: نقش توزیع، شکل بخشیدن به بیتهای تصادفی تولید شده توسط انجین است. توزیع میتواند از بیتهای ایجاد شده اعداد تصادفی طبیعی، اعشاری، بولین، اعداد تصادفی با وزنهای مختلف و ... ایجاد کند.

مثال ۳) در این برنامه یک تابع به نام roll_a_die() برای شبیهسازی تاس تعریف میشود:

```
#include <iostream>
#include <random>
using namespace std;

int roll_a_die() {
   static std::mt19937 e;
   static uniform_int_distribution<int> d(1, 6);
   return d(e);
}

int main() {
   for(int i=0; i < 5; ++i) {
      cout << roll_a_die() << '\n';
   }
}
```

برنامه را کمپایل و اجرا کنید تا خروجی مشابه زیر تولید شود:

```
5 1 6 6 1
```

توضیح) در تابع roll_a_die، یک انجین از std::mt19937 به صورت static اعلان میشود (تا در هر فراخوانی تابع، یک متغیر جدید ایجاد نشود). انجین std::mt19937 پیاده سازی الگوریتم ۳۲ بیت مرسن توویستر (Mersenne Twister) است که در طیف زیادی از سیستمها استفاده میشود. در هِدِر <random>، انجین های دیگری غیر از std::mt19937 وجود دارند که در ادامه بررسی میکنیم؛ ولی در اکثر برنامهها، استفاده از این انجین مناسبترین گزینه است. در ادامه، یک متغیر از توزیع std::uniform_int_distribution اعلان میشود و بازه مورد نظر نیز (بین ۱ و ۶) هنگام ساخت آن به سازندهاش ارسال میشود.

در *مثال ۳*، انجین e مانند std::rand() زمانی که سید نشده، اعداد **یکسانی** در هر اجرا برمیگرداند. سید کردن std::mt19937 با پاس دادن مقدار عددی (مثبت) به سازندهاش میتواند صورت گیرد. برای مثال:

```
std::std::mt19937 e{11};
```

به طوری که مانند سید کردن با std::srand()، اگر یک مقدار ثابت جهت سید کردن به سازندهاش ارسال شود، اعدادی تولید خواهد شد که به ازای این مقدار سید در هر اجرا ثابتاند. برای دریافت اعداد مختلف در هر اجرا میتوان از زمان (مثل time(nullptr)) استفاده کرد؛ ولی در C++11 جهت این کار، شی کلاس std::random_device() گزینهی مناسبتری است. برای مثال:

```
std::random_device rdev{};
std::mt19937 e{rdev()};
```

شی std::random_engine یک عدد تصادفی غیر قطعی تولید که جهت سید کردن انجین مورد استفاده قرار میگیرد. توجه شود که از خود شی std::random_engine مستقیماً برای تولید اعداد تصادفی نباید استفاده کرد (به دلیل سرعت پایین و

نیاز به اشغال فضای زیاد) بلکه برای سید کردن انجین فقط مناسب است. در نتیجه تعریف تابع roll_a_die() از مثال ۳ به گونهای که در هراجرا اعداد تصادفی جدیدی تولید میکند به صورت زیر میشود:

```
int roll_a_die() {
   static std::random_device rdev{};
   static std::mt19937 e{rdev()};
   static uniform_int_distribution<int> d(1, 6);
   return d(e);
}
```

مثال ۴) برنامه ای که یک سری عدد تصادفی را با وزن های مختلف تولید میکند. برای تعیین کردن وزن اعداد از توزیع std::discret_distribution استفاده میشود. این توزیع یک عدد صحیح بین بازه ی [۰, n) با وزنهای تعیین شده تولید میکند.

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <random>
using namespace std;

int main() {
   vector<int> rand_tracker(4);
   random_device rd;
   mt19937 gen(rd());
   discrete_distribution<> d({4, 1, 1, 4});

   for(int n = 0; n<10000; ++n) {
        rand_tracker[d(gen)]++;
    }
   for(int i = 0; i < 4; ++i) {
      std::cout << i << " generated " <<
rand_tracker[i] << " times\n";
   }
}
```

برنامه را کمپایل و اجرا کنید تا خروجی مشابه زیر تولید شود:

```
0 generated 3954 times
1 generated 964 times
2 generated 984 times
3 generated 4098 times
```

توضیح) در ساخت متغیر std::discrete_distribution، وزن ها از نوع std::initializer_list به سازنده ارسال میشوند. شی std::discret_distribution، احتمال تولید هر عدد تصادفی را برابر نسبت وزن iام به جمع کل وزن ها قرار میدهد. در مثال بالا، احتمال تولید عدد ۰، برابر با ۴/(۴+۱+۱+۴) و یا ۰.۴ است. همچنین در برنامه، از یک vector به اسم rand_tracker برای شمارش و نمایش اعداد تولید شده استفاده میشود. همانطور که از خروجی قابل مشاهده است، برای اعداد ۰ و ۳ که وزن بیشتری قرار دادیم تعداد بیشتری نسبت به ۱ و ۲ تولید میشود.

در زمان نوشتن این کتاب انجین های زیر در کتابخانهی استاندارد تعریف شدهاند:

انجین (در std)	الگوریتم
linear_congruential_engine	Linear congruential
mersenne_twister_engine	Mersenne twister
subtract_with_carry_engine	Subtract with carry (lagged Fibonacci)

هر انجین از نظر سرعت، فضای مورد نیاز و بازده متفاوت است. برای مثال الگوریتم Mersenne twister سرعت نسبتاً کم و نیاز به اشغال فضای زیاد دارد ولی طولانیترین توالی غیر تکراری را تولید میکند.

اعلان انجین std::mersenne_twister_engine به صورت زیر است:

```
template<
    class UIntType,
    size_t w, size_t n, size_t m, size_t r,
```

```
    UIntType a, size_t u, UIntType d, size_t s,
    UIntType b, size_t t,
    UIntType c, size_t l, UIntType f
> class mersenne_twister_engine;
```

البته غیر از استفاده های خاص، از انجینهای از پیش تعریف شده استفاده میشود. بین انجین های از پیش تعریف شده، mt19937 و mt19937_64 که الایسهای mersenne_twister_engine برای ۳۲ و ۶۴ بیت است به طور معمول مناسبترین انجینها هستند. mt19937 از انجین mersenne_twister_engine به صورت زیر تعریف شده (صرفاً جهت آشنایی):

```
std::mersenne_twister_engine<std::uint_fast32_t,   32,
624, 397, 31,
    0x9908b0df, 11,
    0xffffffff, 7,
    0x9d2c5680, 15,
    0xefc60000, 18, 1812433253>
```

انجین از پیش تعریف شدهی دیگر، std::default_random_engine است که نوع آن بر اساس کمپایلرهای مختلف، متفاوت است. استاندارد C++، این انجین را بر اساس سرعت، حجم و ...، و یا ترکیبی از آنها، بهترین انجین برای استفاده های معمولی و غیر حرفهای تعریف کرده است. پس به طور کلی در اکثر برنامهها از mt19937 و یا default_random_engine استفاده میشود.

همچنین یک سری انجین های دیگر موجود است که بر اساس انجین های تعریف شده کار می کنند. این نوع انجین ها، **اداپتورِ انجین**[1] نام دارند. عبارت اند از:

اداپتور انجین (در std)	توضیح
discard_block_engine	این اداپتور، مقداری از داده های تولید شده توسط انجین پایه ی خود را حذف میکند.

[1]. Engine adaptors

independent_bits_engine	اداپتور، خروجی انجین پایهی خود را در بلوکهایی با بیت های مشخص شده قرار میدهد.
shuffle_order_engine	اداپتور، خروجی انجین پایه خود را با ترتیب دیگر تولید میکند.

اعلان اداپتور ها، جهت استفاده از آن ها به صورت زیر است:

```
template < class Engine, size_t P, size_t R
> class discard_block_engine;

template <class Engine, std::size_t W, class UIntType
> class independent_bits_engine;

template <class Engine, std::size_t K> class
shuffle_order_engine;
```

مثالی از نحوهی استفاده از آداپتورها:

```
// using namespace std;
mt19937 eng;
discard_block_engine< mt19937, 11, 5>
discard_eng(eng);
shuffle_order_engine< discard_block_engine< mt19937,
11, 5> , 50> shuffle_eng(discard_eng);
```

در کتابخانه‌ی استاندارد، ۲۰ توزیع تعریف شده (در صورت نیاز به لیست کامل، به رفرنس C++ مراجعه کنید). پر استفاده ترین آنها (در std) عبارت اند از:

Distribution	توضیح
uniform_int_distribution	مقادیر **صحیح** با توزیع مساوی در بازه تولید میکند.
uniform_real_distribution	مقادیر **حقیقی** با توزیع مساوی در بازه

	تولید میکند.
bernoulli_distribution	مقادیر **بولین** بر اساس توزیع برنولی تولید میکند.
normal_distribution	مقادیر **حقیقی** روی توزیع نرمال (گاوس) تولید میکند.
discrete_distribution	مقادیر **طبیعی** بر اساس احتمال تولید میکند.

چند نکتهی قابل ذکر در مورد انجینها:

1. طوری از انجینها استفاده کنید که با کمترین تعداد ممکن ساخته شوند. به عنوان مثال اگر در توابع کلاسها استفاده میشوند، انجین را به صورت متغیر عضو تعریف کنید.
2. در صورتی که در یک thread مورد استفاده قرار می گیرند، در هر thread شی جداگانهای از آنها اعلان کنید.
3. در کدهای قدیمی که از std::srand، std::rand()() و ... جهت تولید اعداد تصادفی استفاده می‌شود، میتوان با تعریف ماکرو و توابع زیر از قابلیتهایی C++11 بدون بازنویسی برنامه استفاده کرد:

```
#define RAND_MAX (engine().max() - engine().min())
void srand( unsigned s = 1u ){ engine().seed(s);}
int rand() { return engine()() - engine().min(); }
```

ضمیمه‌ها

ضمیمه (۱) کمپایلر برای C++

کاربران ویندوز، از آخرین نسخهی Visual Studio که از C++14 پشتیبانی میکند میتوانند استفاده کنند. از میان کمپایلرهای متن باز، از معروف ترین و به روزترین آن‌ها کمپایلر GCC است. این کمپایلر برای سیستم عامل‌های شبه یونیکس نوشته شده است. معادل این کمپایلر در ویندوز تحت بسته‌ی MinGW موجود است که از وبسایت www.mingw.org قابل دریافت میباشد.

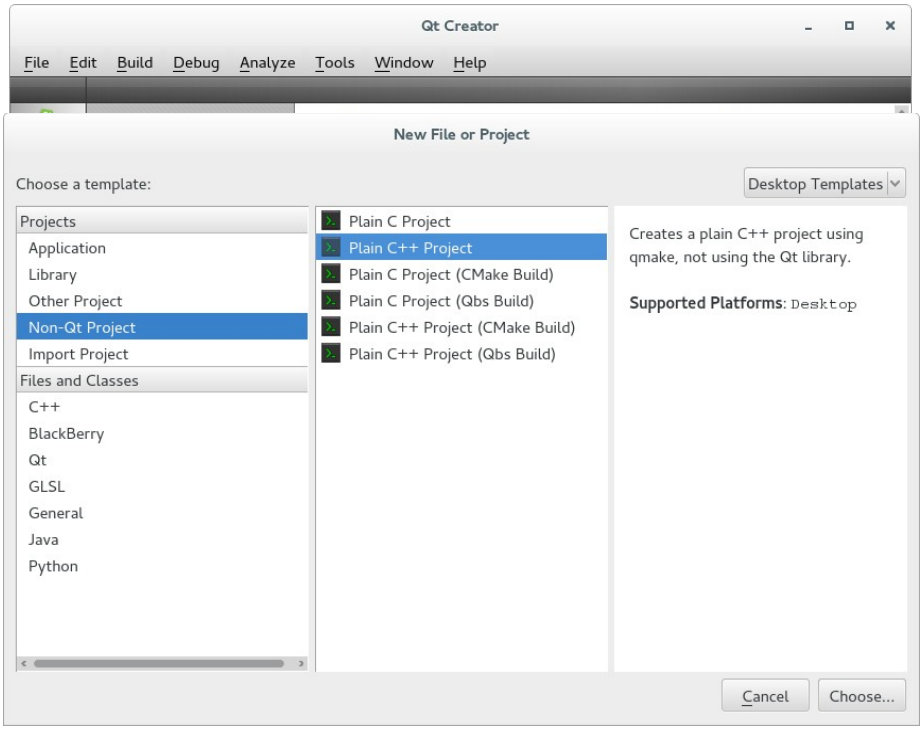
کاربران لینوکس و مک از آخرین نسخه‌ی GCC می‌توانند استفاده کنند که از آخرین استانداردها نیز پشتیبانی می‌کند. کمپایلر GCC شامل مجموعه‌ای از کمپایلرها برای زبانهای مختلف است که g++، مختص کمپایل کدهای C++ قرار دارد. با استفاده از g++ هنگام کمپایل برنامه، به طور خودکار کتابخانهها و پایانهی مختص C++ استفاده میشود.

آشنایی باIDE

در این قسمت طریقهی نصب qt creator نوشته شده؛ این IDE پس از آشنایی با مقدمات C++ و جهت کار با کتابخانه‌ی Qt - که امکانات زیادی در زمینه‌ی شبکه، واسط گرافیکی (gui) و ... را فراهم می‌کند - را آسانتر می‌کند.

پس از نصب کماپیلر (مثلا GCC برای لینوکس و مک و MinGW برای ویندوز)، برای نصب qt creator فایل نصبی Qt که شامل qt creator نیز می‌باشد را برای سیستم خود از وبسایت www.qt.io دریافت کنید. پس از نصب، مراحل زیر را برای ایجاد پروژه طی کنید:

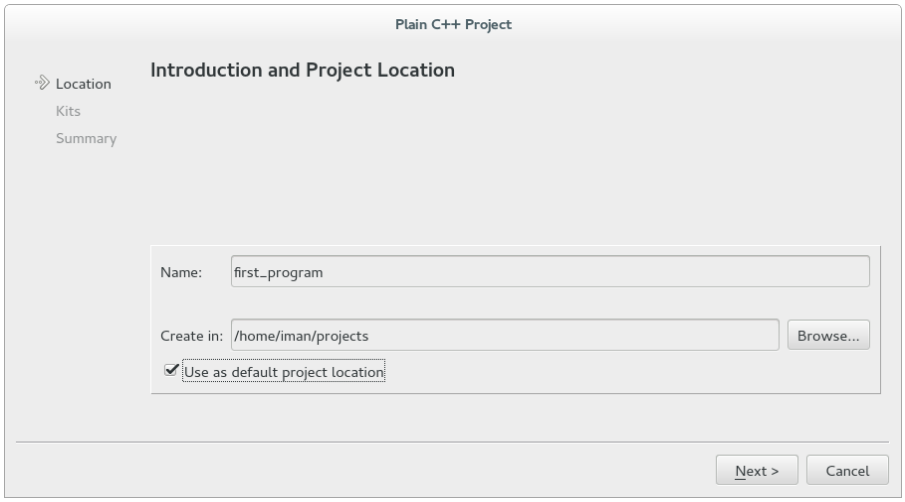
۱. ابتدا qt creator را اجرا کنید تا صفحه‌ای مشابه باز شود:

۲. 

از منوی File گزینه‌ی New file or Project را انتخاب کنید:

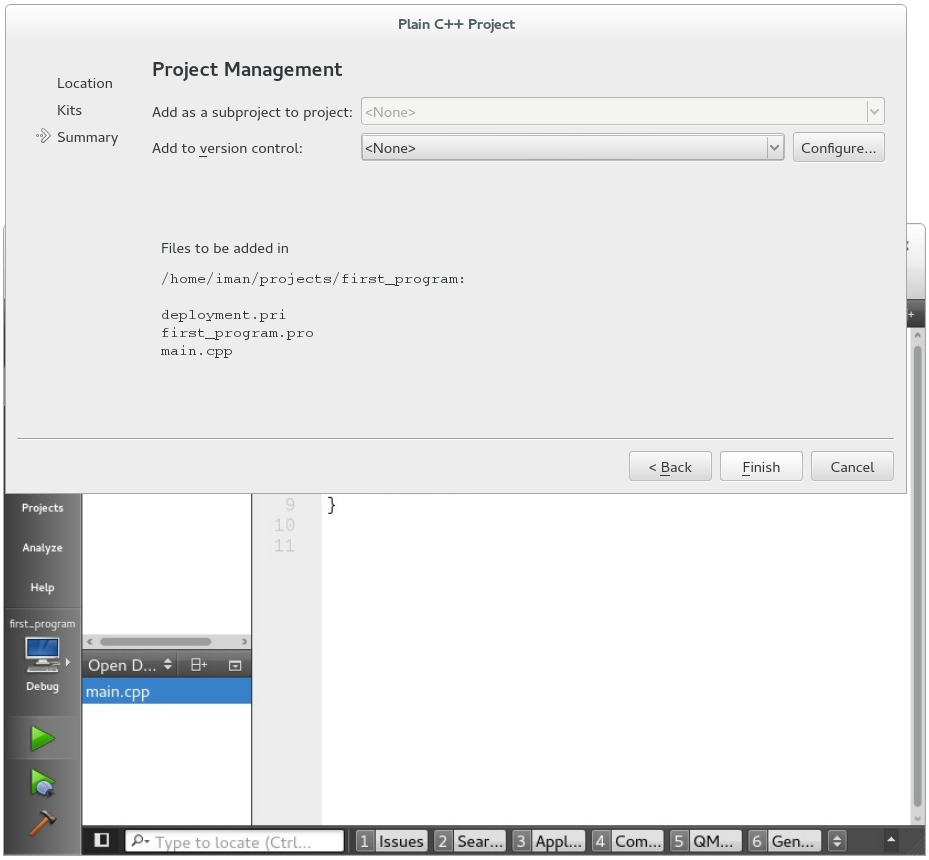
۳. از گزینه Non-Qt Project گزینه Plain ++C Project را از سمت راست انتخاب کنید سپس روی Choose... کلیک کنید:

۴. در مقابل Name: نام پروژه و مقابل Create in: آدرس پروژه را با Browse ... انتخاب کنید و روی Next> بزنید:

۵. 

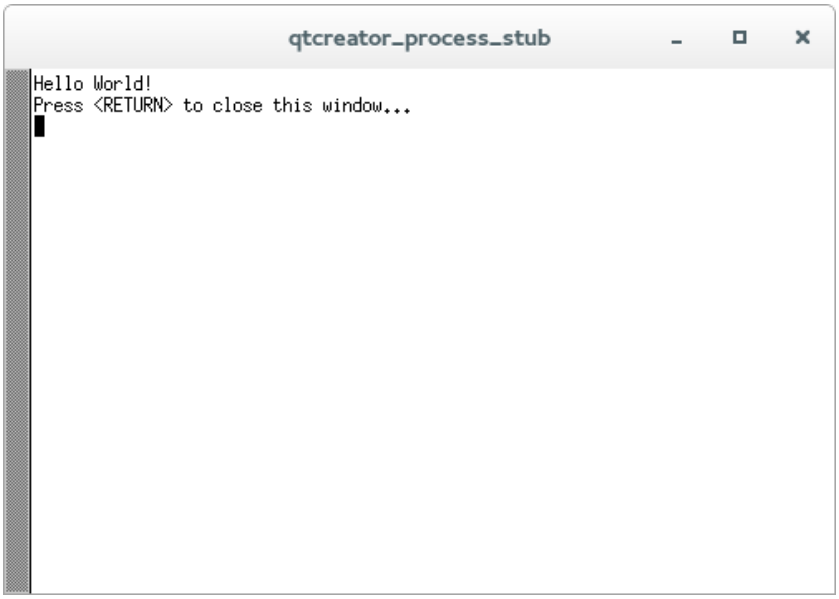
کمپایلر مورد نظر را انتخاب کنید و روی Next> کلیک کنید.

۶. این صفحه مربوط به تنظیمات مربوط به برنامه‌های کنترل نسخه مانند git است. در صورت عدم نیاز به راهاندازی، بدون تغییر روی Finish کلیک کنید:



صفحه‌ی باز شده محیط برنامه نویسی ماست. در سمت چپ، فایل‌های مربوط به برنامه قرار دارند. از آنجا پوشه‌ی Sources را باز کنید تا فایل main.cpp مشاهده شود. این فایل تنها فایل برنامه است که توسط qt creator به صورت خودکار، ایجاد میشود. دستورات این فایل شامل برنامه‌ای است که در خروجی جمله معروف Hello World! را چاپ می‌کند.

۷. بر روی لوگوی اجرا که در پایین سمت چپ qt creator است کلیک کنید تا برنامه کمپایل و اجرا شود:



کنسول سیستم شما ممکن است cmd ویندوز باشد ولی خروجی Hello World! مشابه بالا خواهد بود.

ضمیمه (۲) کمپایل با C++14،C++11 و C++17

در آخرین نسخهی Visual Studio، آخرین استانداردهای پیاده شده در آن به طور خودکار قابل استفاده هستند. در صورت استفاده از g++، باید از flag زیر هنگام کمپایل، برای C++11:

```
-std=C++11
```

و یا:

```
-std=C++14
```

برای C++14 و یا:

```
-std=++C1z
```

برای کمپایل با استاندارد C++17 استفاده شود. برای مثال:

```
g++ main.cpp –std=++C1z
```

فایل منبع main.cpp را با استانداردهای C++17 کمپایل می‌کند.

در صورت استفاده از qt creator خط زیر در فایل .pro برای C++17 قرار دهید:

```
CONFIG += ++C1z
```

در صورت استفاده از IDE دیگر، این flag در تنظیمات build (یا در قسمتی مشابه) قابل افزودن است.

ضمیمه (۳) گرفتن آرگومان از cli

بـــه جای پاس دادن آرگومان با cin، در مـــواردی پاس دادن مقـــادیر با اجـــرای برنامـــه مناسبتر است. مثلاً با دستور زیر در ویندوز:

```
program.exe 192.168.1.1 5000
```

یا در یونیکس به صورت:

```
./program 192.168.1.1 5000
```

در برنامه‌ای که آدرس ip و پـورت را می‌گـیرد و بـه سرور متصـل می‌شـود، اسـتفاده از آرگومان cli به دلیل مشخص بودن آرگومانها در هنگام اجرای برنامه نسبت به اسـتفاده از cin مناسبتر است. یکی از مشکلات cin در این است که در حین اجرا برنامه منتظر ورودی کاربر می‌شـود کـه در این حالت نوشـتن برنامهـای دیگر بـرای اتوماتیـک کردن فرآیند اجرای برنامه دشوار میشود.

با اعلانmain به صورت زیر:

```
int main(int argv, char** argc);
```

امکان پاس دادن آرگومان با اجرا از طریق cli فراهم می‌شـود. در برنامـه argv تعـداد آرگومان‌ها و argc آرایه‌ی رشته از آرگومان‌ها است.

مثال)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(int argc, char** argv) {
   for(auto i = 0; i < argc; ++i) {
      cout << *(argv[i]) << '\t';
   }
   cout << '\n';
}
```

با اجرا به صورت زیر، آرگومان‌ها در خروجی نمایش داده می‌شوند (program برنـــامه‌ی

کمپایل شده در دایرکتوری است):

```
program.exe data1 data2 data3
```

یا در یونیکس به صورت:

```
./program data1 data2 data3
```

در برنامه‌هایی که از آرگومان `cli` استفاده میکنند، معمولاً از ساختاری شرطی برای اطمینان از دریافت آرگومان‌های مناسب استفاده می‌شود.

ضمیمه (۴) نوع بازگشتی کوواریانت (covariant)

در صورتی که دو کلاس با نام‌های Base و Derived در برنامه داشته باشیم و Derived از Base مشتق شده باشد، در بعضی از مواقع (مثل سازندهی virtual) کلاس مشتق، شامل تابع نادیده‌گرفته شده‌ای (override) میباشد که شی مشتق شده‌تری نسبت به Base را برمیگرداند. برای مثال:

```
class Base {
public:
    virtual Base* clone() const {
        return new Base();
    }
};

class Derived : public Base {
public:
    Base* clone() const {
        return new Derived();
    }
};
```

تعریف چنین تابع عضوی همانطور که انتظار میرود کاملاً صحیح است؛ زیرا اشارهگر به صورت implicit به اشارهگر Base، downcast میشود. ولی حالتی را در نظر بگیرید که شی Derived مشخص است و می‌خواهیم با clone() آن را کپی کنیم. در این حالت نمیتوان دستورات زیر را برای مثال قبل نوشت:

```
Derived *d1 = new Derived();
Derived *d2 = d1->clone(); // error
```

یک راه حل در این مثال استفاده از dynamic_cast برای upcast کردن و استفاده از ساختار شرطی برای اطمینان از ایجاد کَست است. برای مثال:

```
Derived* d = new Derived;
Base* b = d->clone();
Derived* d2 = dynamic_cast<Derived*>(b);
```

```
if(d2) {
   // checking for conversion success. if not, throw
   // exception, etc
}
```

در C++، تابع عضو نادیده‌گرفته شده در کلاس مشتق، می‌تواند شی مشتقشده‌تری نسبت به کلاس پایه‌ی خود را برگرداند؛ این نوع مقدار بازگشتی کوواریانت[1] نام دارد. برای مثال کلاس‌های Base و Derived را به صورت زیر میتوان بازنویسی کرد:

```
class Base {
public:
   virtual Base* clone() const {
      return new Base();
   }
};

class Derived : public Base {
public:
   Derived* clone() const {
       return new Derived();
   }
};
```

که در این حالت دستورات زیر بدون نیاز به کَست کردن ممکن میشود:

```
Derived* d = new Derived;
Derived* d2 = d->clone(); // ok
```

استفاده از نوع بازگشتی کوواریانت برای وراثت protected و private و وراثت چندگانه نیز امکانپذیر است.

[1] Covariant return type

ضمیمه (۵) Most vexing parse **در** C++

این عبارت یک قاعده در کمپایل C++ است که بیان میکند: در صورتی یک دستور هم به عنوان اعلان یک متغیر بطوری که با () مقداردهی اولیه شده و یک تابع معنی دهد، کمپایلر اعلان تابع را در نظر میگیرد.

مثال)

```
#include <iostream>
using namespace std;
class MyClass{
   MyClass(){
       cout << "constructor called.\n";
   }
};

int main() {
   MyClass myObject();
}
```

با کمپایل و اجرای برنامه هیچ خروجی دریافت نمیشود. عدم خروجی رشته در کنسول به این معناست که شی `myObject` ساخته نشده و سازنده آن نیز اجرا نشده است. دلیل این عمل کرد خط زیر است:

```
MyClass myObject();
```

این دستور میتواند یک اعلان *تابع* معنی دهد که کمپایلر نیز این معنی را انتخاب میکند. در مثال بالا چون سازندهی کلاس `MyClass` بدون پارامتر است، برای جلوگیری از ابهام `most vexing parse` هنگام ساخت شی باید به صورت زیر عمل کرد:

```
MyClass myObject;
```

توجه شود که در عمل، `most vexing parse` در مکان هایی اتفاق میافتد که به راحتی مثال بالا قابل تشخیص نیست. در C++11 به بعد، ساخت شی با $\{\}$ این ابهام را

ایجاد نمیکند. مثلاً برای کلاس MyClass دستور زیر:

```
MyClass myObject{};
```

یک متغیر اعلان میکند.

از نظر تاریخی عبارت most vexing parse اولین بار در کتاب Scott Meyers تحت عنوان *Effective STL* (2001) مورد استفاده قرار گرفت. این عبارت سپس در استاندارد C++ تعریف شد.

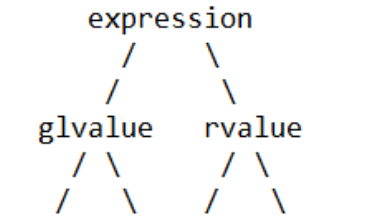
ضمیمه(6) دسته بندی مقادیر

مقادیر در C++11 به بعد بر اساس دو ویژگی دسته بندی شدهاند.

i: identity داشته باشد یا I: identity نداشته باشد.

m: قابل انتقال باشد یا M: قابل انتقال نباشد.

ترکیب دو ویژگی فوق ۴ حالت ایجاد میکند که به دلیل بی کاربرد بودن IM (identity نداشته باشد و قابل انتقال نباشد)، ۳ حالت دیگر در نظر گرفته میشود. ۳ حالت بوجود آمده در دیاگرام زیر قابل مشاهده است.



سپس برای هر دسته اسمی جایگزین اسم های انتخاب شده انتخاب شده با حالت ها موجود در دیاگرام بالا به صورت زیر میشود:

در لیست زیر اجزای هر دسته نوشته شده:

- lvalue: تعیین کننده ی یک تابع یا یک شی است. برای مثال:

```
“string”; // lvalue *
int a{}; // lvalue
int &&a{10}; // lvalue
struct S{int a;}
S sobj; // lvalue
sobj.a; // lvalue **
```

* رشته بر خلاف بقیه ی لیترال ها یک lvalue است چون در یک آرایه ذخیره میشود.

** اعضای غیر static از lvalue نیز lvalue است.

- xvalue (eXpiring value): به یک شی تلقی میشود که معمولاً در

پایان طول عمر آن است (تا فضایش جابجا شود مثلاً). برای مثال:

```
int a = 10;
std::move(a); // xvalue
```

- glvalue (generalized value) یک lvalue یا xvalue است.
- rvalue تعیین کنندهی یک xvalue، یک شی موقت، یا مقداری است که به یک شی وابسته نیست.
- prvalue (pure value): یک rvalue است که xvalue نیست. برای مثال:

```
42; // prvalue
int func();
func(); // prvalue
int a{};
&a; // prvalue
```

برای مقایسه، lvalue های C03++ همان lvalue باقی ماندهاند ولی rvalueها به prvalue تغییر نام پیدا کرده. با وجود اینکه تعیین دسته ی یک expression میتواند مشکل باشد، در عمل میتوان از روش زیر برای مشخص rvalue و lvalue میتوان استفاده کرد:

1. اگر امکان دریافت آدرس یک expression وجود داشته باشد، expression یک lvalue است.
2. اگر نوع expression یک رفرنس lvalue (رفرنس عادی) باشد، عبارت یک lvalue است.
3. در غیر این صورت expression یک rvalue است.