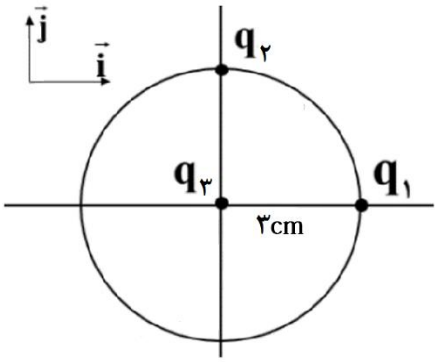
مثال ۱۲ (نهایی تجربی ـ خرداد ۱۴۰۳): دو ذرهٔ باردار $q_1 = 40\ nC$ و $q_2 = -30\ nC$ روی محیط دایره‌ای به شعاع $3\ cm$ قرار دارند. نیروی خالص وارد بر بار $q_3 = 20\ nC$ را که در مرکز دایره واقع است رسم کنید و آن را بر حسب بردارهای یکهٔ $\vec{i}$ و $\vec{j}$ بنویسید.



کتاب درسی ○ مثال ۱-۴ ○ تمرین ۱-۳

☑ بخش۴: میدان الکتریکی

دانستیم که وقتی دو بار الکتریکی در فاصله‌ای از یکدیگر قرار بگیرند، بر هم نیرو وارد می‌کنند. اما این سوال مطرح می‌شود که این بارها، با اینکه با هم در تماس نیستند، چطور حضور یکدیگر را حس می‌کنند و بر هم نیرو وارد می‌کنند؟

پاسخ علم فیزیک: هر بار الکتریکی، در فضای پیرامون خود خاصیتی ایجاد می‌کند که به واسطهٔ آن، به هر باری که در آن فضا قرار بگیرد، نیروی الکتریکی وارد می‌شود. به این خاصیت، **میدان الکتریکی** گفته می‌شود.

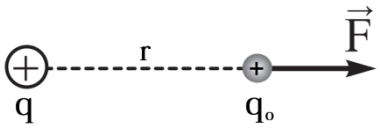
توضیح: فرض کنید یک گوی دارای بار مثبت در فضای اتاق قرار دارد و بار الکتریکی دیگری هم در اطراف آن نیست. در ظاهر، اتفاق خاصی رقم نمی‌خورد اما این گوی باردار در اطراف خود خاصیتی را ایجاد کرده که همانند سربازانی نامرئی گرداگرد او را گرفته‌اند. سربازهایی که به گوی نزدیک‌ترند قوی‌تر هستند و هرچه از گوی دور شویم، از قدرت آن‌ها کاسته می‌شود. وظیفه (خاصیت) سربازها این است که هرگاه ذرهٔ بارداری در اتاق وارد شد، اگر دارای بار همنام با گوی بود با نیروی رانشی آن را دفع کنند و اگر دارای باری ناهمنام با گوی بود، با نیروی ربایشی آن را جذب کنند.

پس اگر هیچ ذرهٔ بارداری هم وارد اتاق نشود، سربازها که همان **میدان‌الکتریکی** هستند حضور دارند و همیشه آماده‌اند. یعنی وجود میدان الکتریکی، ربطی به حضور و یا عدم‌حضور یک **بار خارجی** ندارد و خاصیتِ ذاتیِ ذرهٔ باردار است. حال اگر یک ذرهٔ باردارِ خارجی وارد این میدان شود، از طرف سربازها (میدان) به آن نیرو هم وارد می‌شود. یعنی نیروی الکتریکی (بر خلاف میدان الکتریکی)، فقط با ورود بار خارجی، ظاهر می‌شود.

* تعیین رابطه برای میدان الکتریکی ($\vec{E}$)

گفتیم که میدان الکتریکی، یک خاصیت غیر قابل احساس است. پس اول باید کاری کنیم تا این میدان نامرئی را احساس کنیم. برای این کار کافیست که یک ذرهٔ باردار را به میدان الکتریکی بکشانیم تا بر آن نیرو وارد شود. حالا میدان الکتریکی، خود را نشان می‌دهد و ما می‌توانیم با توجه به شدت نیرو و اندازهٔ بار خارجی، رابطه‌ای را برای میدان الکتریکی تعریف کنیم.

روش تعیین میدان الکتریکی: ابتدا یک بار کوچک و مثبت موسوم به **بار آزمون** را که با q_0 نشان می‌دهیم، در نقطهٔ دلخواه از یک میدان الکتریکی (که توسط یک جسم باردار با بار q تولید شده است) قرار می‌دهیم و سپس نیروی الکتریکی ($\vec{F}$) وارد بر آن را اندازه می‌گیریم. آن‌گاه میدان الکتریکیِ ناشی از جسم باردار در آن نقطه، به صورت زیر تعریف می‌شود:

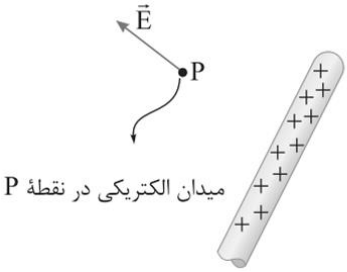


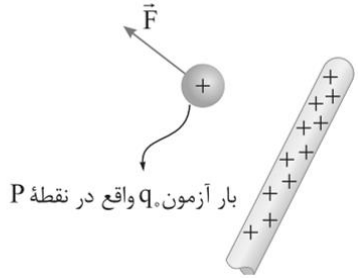
$$\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q_0}$$ (نیروی وارد بر بار آزمون) $\Longrightarrow$ **اندازهٔ میدان الکتریکی:** $\boxed{E=\frac{F}{q_0}}$ (بار آزمون)

یکا در SI: $\frac{\text{نیوتون}}{\text{کولن}}=\frac{N}{C}$

نکته: ما بار آزمون q_0 را فقط برای اندازه‌گیری میدان حاصل از بار q وارد ماجرا کردیم و این بار آزمون، تأثیری در میدان الکتریکی بار q ندارد.

جهت میدان الکتریکی: رابطهٔ $\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q_0}$ معلوم می‌کند که میدان الکتریکی یک کمیت برداری و جهت‌دار است. در شکل بالا، بردار نیروی الکتریکی ($\vec{F}$) را نشان داده و رسم کرده‌ایم، اما بردار میدان الکتریکی چگونه و به کدام جهت رسم می‌شود؟

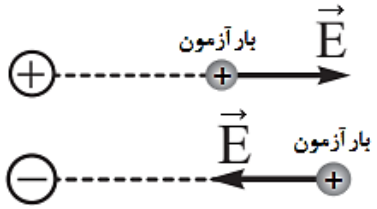




چنان‌که در شکل مقابل نیز مشاهده می‌کنید، جهت میدان الکتریکی در هر نقطه (مانند P)، **هم‌جهت** با نیروی وارد بر بار آزمون در همان نقطه است. پس:

جهت میدان الکتریکی، همان جهت نیروی الکتریکی است.

نکته: بردارهای کشیده شده در شکل بالا فقط برای تعیین جهت نیرو و میدان هستند و اندازهٔ این دو را با هم مقایسه نمی‌کنند، چون این دو کمیت، یکاهای متفاوتی دارند (N و N/C) و مشابه هم نیستند که بتوان آن‌ها را با هم قیاس کرد. مثل کمیت‌های مسافت(m) و سرعت(m/s).



بر این اساس، جهت میدان الکتریکیِ ناشی از بارهای مثبت و منفی، با معیار بار آزمون، همانند جهت نیروی الکتریکی وارد بر بار مثبت است:

بیشتر بدانیم: چرا بار آزمون، مثبت است؟! ما می‌توانستیم بار آزمون را منفی بگیریم اما طبق رابطهٔ $\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q_0}$ در صورتی که بار آزمون q_0 مثبت باشد، میدان $\vec{E}$ و نیروی $\vec{F}$ در هر شرایطی هم‌جهت می‌شوند. از آنجا که این نظم و هماهنگی برای ذهن، مطلوب است، بستر مناسبی را برای پایه‌ریزی یک قرارداد فراهم می‌آورد. به همین دلیل، تعیین جهت خطوط میدان الکتریکی (که در ادامه به آن خواهیم پرداخت)، به عنوان یک قرارداد، بر مبنای بار آزمون مثبت پایه‌ریزی شده است و این صرفاً یک قرارداد خوب و کارراه‌انداز است!

نکتهٔ مهم: همانطور که ذکر شد، بار آزمون (و یا هر بار خارجی) که در نقطهٔ خاصی از میدان حاصل از بار q قرار می‌گیرد، صرفاً برای سنجش و اندازه‌گیری میدان الکتریکی بار q در همان نقطهٔ خاص می‌باشد و هیچ تأثیری بر شدت میدان بار q ندارد. لذا چه آن بار خارجی آن‌جا باشد و چه نباشد، و چه اندازهٔ بار خارجی در آن نقطه کم یا زیاد شود، شدت میدان حاصل از بار q در آن نقطه، به همان اندازهٔ اول باقی می‌ماند (در بخش بعدی بیشتر به این موضوع می‌پردازیم). **اما** نیروی $\vec{F}$ وارد بر بار خارجی در آن نقطهٔ خاص، طبق قانون کولن به اندازهٔ هر دو بار بستگی دارد و اگر اندازهٔ بار خارجی تغییر کند، با اینکه میدان الکتریکی q در آن نقطه ثابت است اما نیروی وارد بر بار خارجی (q_0) تغییر خواهد کرد.

کتاب درسی **مثال ۱-۵** ← این مثال، نشان می‌دهد که تغییر اندازهٔ بار خارجی(بار آزمون)، تأثیری در اندازهٔ میدان آن نقطه ندارد.

☑ بخش۵: میدان الکتریکی حاصل از یک ذرهٔ باردار

در بخش قبل، اندازهٔ میدان الکتریکی حاصل از بار q را با استفاده از نیرویی که به بار آزمون وارد می‌شد محاسبه کردیم. اما با توجه به این‌که بار آزمون هیچ تأثیری در میدان الکتریکی بار q ندارد، آیا می‌توان میدان الکتریکی را در هر نقطهٔ دلخواه، بدون نیاز به بار آزمون، و فقط با استفاده از مشخصات بار q محاسبه کرد؟ پاسخ مثبت است. در واقع، رابطه‌ای که در بخش قبل به دست آمد، امکان این کار را فراهم کرده است.

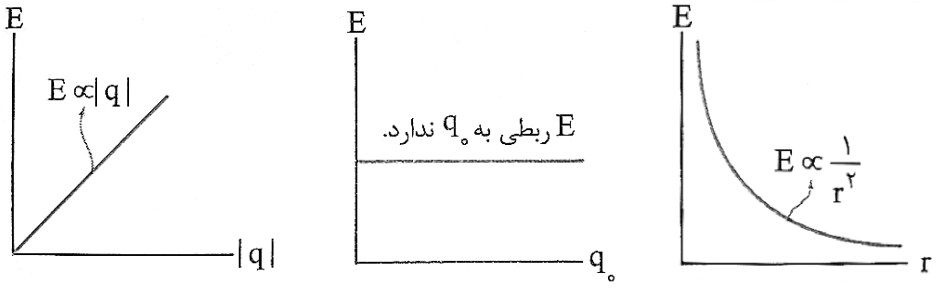
در ابتدا با نگاه به رابطهٔ $E=\frac{F}{q_0}$ این سوال در ذهن شکل می‌گیرد که اگر میدان الکتریکی، مستقل از بار آزمون است پس چرا در این رابطه بار آزمون q_0 ذکر شده است؟! مگر طبق این رابطه، میدان (E) با q_0 نسبت عکس ندارد؟ در پاسخ باید گفت که F طبق رابطهٔ قانون کولن ($F=k\frac{|q||q_0|}{r^2}$) ، q_0 را نیز در درون خود دارد لذا F و q_0 مستقل از هم نیستند؛ مثلاً اگر q_0 دو برابر شود، F نیز دو برابر خواهد شد، پس نسبت $\frac{F}{q_0}$ تغییر نخواهد کرد حال اگر این رابطه را به صورت زیر بنویسیم، می‌بینیم که q_0 از صورت و مخرج رابطه حذف شده و این رابطه یک شکل جدید پیدا می‌کند:

$$E=\frac{F}{q_0}=\frac{k\frac{|q|\cancel{q_0}}{r^2}}{\cancel{q_0}} \Rightarrow \boxed{E=k\frac{|q|}{r^2}}$$

با استفاده از این رابطه، اندازهٔ میدان الکتریکی ناشی از بار q در نقطه‌ای که به فاصلهٔ r از بار q قرار دارد محاسبه می‌گردد.

نکته: طبق رابطهٔ بالا، میدان با اندازهٔ بار q **نسبت مستقیم**، و با مربع فاصله از بار، **نسبت عکس** دارد.

نمودارهای میدان الکتریکی حاصل از بار q
به صورت مقابل می‌باشند:



نکته: حالت مقایسه‌ای برای رابطهٔ میدان الکتریکی به صورت مقابل است:

$$\frac{E_2}{E_1}=\frac{|q_2|}{|q_1|}\times\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

(از این رابطه می‌توان برای مقایسهٔ ویژگی‌های دو بار الکتریکی مختلف و یا مقایسهٔ ویژگی‌های یک بار الکتریکی برای دو فاصلهٔ مختلف استفاده کرد.)