



Shahrasood

انطباق تجهیزات | تضمین فنی | ایمنی پایدار

عنوان مقاله:

معرفی روش Tripod Beta در تحلیل علل ریشه‌ای حوادث صنعتی

◆ فصل ۱ – مقدمه و فلسفه تحلیل علل ریشه‌ای

تحلیل علل ریشه‌ای (Root Cause Analysis – RCA) بعنوان هسته‌ی علوم ایمنی فرآیند محسوب می‌گردد و هدف از آن شناسایی و حذف ریشه‌های سیستمی وقوع حوادث است. در نظام‌های مدیریت ایمنی امروز، RCA به دو قلمرو تقسیم می‌شود:

- پیش‌بینی و پیشگیری (Predictive) – مثل مدل‌های Bow-Tie و HAZOP
- تحلیل پس‌از وقوع (Reactive) – مثل Tripod Beta، TapRoot و HFACS

صاحب نظران مدل Tripod Beta را پلی بین این دو قلمرو می‌دانند؛ زیرا هرچند این مدل در ظاهر امر در دسته‌ی متدهای تحلیلی پس از وقوع رویدادها قرار دارد، اما نتایج آن می‌تواند مستقیماً بعنوان یکی از ورودیهای مؤثر در چرخه‌ی اصلاح و پیشگیرانه سازمان قرار گیرد.

توسعه این روش پاسخی به این نیاز بود که «چرا علی‌رغم وجود صدها دستورالعمل ایمنی، هنوز وقایع مشابه تکرار می‌شوند؟». در پاسخ به این پرسش، شرکت Shell یک ابزار علمی برای کشف شرایط پنهان و مزمن درون سازمان معرفی کرد؛ ابزار معرفی شده توسط Shell بعدها توسط جیمز ریزن در مدل پنیر سوئیسی Swiss-Cheese خود با عنوان Latent Failures تشریح گردید. Tripod Beta ساختار منطقی مدل Swiss-Cheese را از نگاه شکست موانع به صورت تحلیلی بازسازی می‌کند و در هر لایه‌ی Barrier، منشأ بالقوهٔ شکست سیستم را به سطح علل بنیادی منتقل می‌سازد.

◆ فصل ۲ – تاریخچه توسعه Tripod Beta

۱-۲. خاستگاه در Shell

در دهه ۱۹۸۰، پس از چند حادثه جدی در صنایع دریایی و نفتی، مخصوصاً فاجعه Piper Alpha (در سال ۱۹۸۸)، گروه تحقیقاتی Shell Nederland با همکاری دانشگاه لیدن، پروژه‌ای آغاز کرد تا الگوی سیستماتیکی برای درک ارتباط انسان – سازمان – تکنولوژی طراحی کند. نتیجه این مطالعات، مدل Tripod Delta (برای پیشگیری رفتاری) و سپس نسخهء تحلیلی آن، Tripod Beta (برای RCA)، بود.

۲-۲. انتقال و استانداردسازی

در سال ۱۹۹۸، Shell حقوق مربوط به Tripod Beta را به Stichting Tripod Foundation در هلند واگذار کرد تا توسعه و آموزش بین‌المللی زیر نظر علمی بی‌طرف انجام گیرد. در سال ۲۰۱۵، همکاری رسمی با Energy Institute UK آغاز شد و راهنمای رسمی Tripod Beta v6 در ۲۰۲۳ منتشر گردید.



◆ فصل ۳ - مدل مفهومی و تعریف اجزاء اصلی

۳-۱. مدل سه‌گانه انرژی - مانع - هدف

- پایه نظری Tripod Beta بر مدل Energy-Barrier-Target استوار است.
- عامل (Energy Source): هر منبع انرژی بالقوه خطرناک (الکتریسیته، فشار، گاز، ارتفاع...).
- مانع یا کنترل (Barrier): سیستم، تجهیز یا اقدام انسانی که از انتقال انرژی به هدف جلوگیری می‌کند.
- معلول (Target / Object): انسان، دارایی یا محیطی که ممکن است از تماس انرژی آسیب ببیند.

بر اساس Tripod v6، تعریف رسمی Barrier به صورت زیر است:

Barrier:

A physical, procedural, or human control that prevents, detects, or mitigates unwanted energy flow leading to loss.

۳-۲. روابط علت معلولی

اگرچنانچه در مسیر هر Barrier شکسته یا حذف شود، انرژی بدون کنترل به هدف منتقل می‌شود و در نتیجه آن رویداد یا حادثه رخ می‌دهد. در مدل Tripod Beta به دنبال فهم این موضوع هستیم که چرا مانع شکسته یا حذف گردید؟ در حقیقت در این مدل دنبال شناسایی و معرفی فرد یا افراد مقصر یا کسانی که اشتباه کرده اند نمی‌باشد و به سعی دارد عوامل ریشه ای بروز رویداد را مشخص نماید.

۳-۳. ساختار درختی Tripod

برای این مدل ساختاری شبیه درخت در نظر گرفته شده است و به درخت Tripod معروف می‌باشد که از بالا به پایین شامل سه سطح می‌باشد:

- Top Event (رویداد یا حادثه)
- Barriers & Failed Barriers
- Causal Path: Immediate → Preconditions → Underlying Causes

◆ فصل ۴ - گام‌های اجرایی برای پروژه Tripod Beta

گام ۱. مستندسازی و جمع‌آوری داده‌ها: شامل بازدید سایت، مصاحبه با شاهدان، بررسی فیلم، لاگ تجهیزات و نرم افزارها، گزارش تعمیرات، و ...

گام ۲. تشکیل تیم تحلیل: ترکیبی شامل: مسئول تیم تحلیل آشنا با مدل Tripod Beta، کارشناس فنی مرتبط، نماینده HSE.

گام ۳. تحلیل «چه اتفاقی افتاد» (What Happened): با ترسیم توالی رویداد در نمودار انرژی.

گام ۴. تحلیل «چگونه اتفاق افتاد» (How Happened): شناسایی موانع، نوع آن‌ها و نحوه از کار افتادن هر مانع.

گام ۵. تحلیل «چرا اتفاق افتاد» (Why Happened): کشف رشته علل بر اساس الگوی سه‌لایه:

Immediate Cause

Preconditions

Underlying Cause

گام ۶. جلسه بازبینی یافته‌ها (Verification Meeting): جلسه بازبینی یافته‌ها با حضور مسئول تیم تحلیل، HSE و نماینده تیم فنی برای:

۱- تأیید صحت علل شناسایی شده؛

۲- اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی (Corrective Actions)؛

۳- مشخص نمودن مسئول اقدام (Action Owner) و مدت زمان اجرا (Due Date).

گام ۷. ثبت در سیستم (LFI (Learning From Incidents): جهت حفظ و توسعه مدیریت دانش، ضروری است براساس آیین نامه‌های مستندسازی در سازمان یا شرکت، نتایج بررسی بصورت مشخص و قابل رهگیری در پایگاه دانش سازمانی بازگشت آرشو و نگهداری شود.

◆ فصل ۵ - مزایا و دستاوردهای روش Tripod Beta در صنایع

۵-۱. دیدگاه کلی

اگر بر این نکته بسیار کلیدی توجه داشته باشیم که در نظام‌های HSE، هر ابزار تحلیلی، زمانی مؤثر است که بتواند از توصیف حادثه فراتر رفته و یادگیری سازمانی پایدار ایجاد کند؛ متوجه می‌شویم روش Tripod Beta از محدود چارچوب‌هایی است که این چرخه را به صورت عملیاتی فعال می‌سازد. بر پایه‌ی نسخه رسمی (Energy Institute 2023) Tripod Beta v6، این روش قادر است ریشه‌های سازمانی پنهان یا همان Latent Conditions را آشکار نماید؛ جالب است که در نظر بگیریم ریشه‌های سازمانی پنهان، دقیقاً بخش مهمی از عوامل بوجود آورنده حوادث هستند که معمولاً در ممیزی‌ها یا بررسی‌های سطحی شناسایی نمی‌شوند.

۵-۲. برتری‌ها نسبت به سایر روش‌های RCA

در جدول ۱ بصورت کاملاً کوتاه و مختصر سعی شده است مقایسه‌ای بین مدل‌های Tripod Beta، Bow-Tie و HFACS در تجزیه و تحلیل حوادث رخ داده در پروژه‌هایی مانند پروژه‌های احداث نیروگاهی را مشخص کنیم:

جدول ۱ - مقایسه ۶ کیفی روش‌های تحلیلی در صنایع فرایندی (منبع: EI v6 Guide 2023, IChemE 2022)

معیار	Tripod Beta	Bow-Tie	HFACS
سطح تحلیل	واکنشی - علی	پیشگیرانه - احتمالی	رفتاری - سازمانی
خروجی کلیدی	شناسایی Underlying Causes	شناسایی Critical Barriers	تحلیل خطای انسانی
ابزار مکمل	پایگاه LFI Portal	ماتریس خطر HAZID/LOPA	پرسش‌نامه رفتاری
قابلیت یادگیری سازمانی	بسیار بالا	متوسط	بالا
کاربرد در ایران	در فاز حوادث	در فاز طراحی پروژه	در آموزش HSE

۵-۳. اثربخشی آماری در صنایع انرژی

بر اساس داده‌های منتشر شده توسط Energy Institute در سال ۲۰۲۳ و همچنین IOGP Report 510 در سال ۲۰۲۱، سازمان‌هایی که از Tripod Beta به عنوان روش رسمی RCA استفاده کرده‌اند، طی سه سال عملکرد زیر را تجربه نموده‌اند:

شاخص کلیدی (HSE KPI)	قبل از استقرار Tripod Beta	بعد از دو سال	میزان بهبود
نرخ تکرار حوادث مشابه (Repeat Incident Rate)	۴۲٪	۱۳٪	-۶۹٪
درصد کشف علل بنیادی (Underlying Cause ID Rate)	۳۵٪	۸۶٪	+۵۱٪
تکمیل اقدامات اصلاحی در موعد مقرر	۶۴٪	۹۳٪	+۲۹٪



در نمونه بومی بررسی شده در یکی از پروژه های نیروگاه سیکل ترکیبی در داخل ایران بین سالهای ۱۳۹۹ - ۱۴۰۱، میزان بسته شدن اقدامات اصلاحی بر اساس مدل Tripod در کمتر از ۹۰ روز، از ۵۷٪ به ۸۴٪ افزایش یافت.

۴-۵. اثر فرهنگی و یادگیری رفتاری

بر اساس یافته های حاصل از Shell Global Hearts & Minds Toolkit, 2018 یک ویژگی ممتاز Tripod Beta، تقویت مفهوم "Just Culture" است؛ یعنی تفکیک خطای انسانی از رفتار قصورآمیز. در فرآیندهای آموزش HSE، این نکته باعث ارتقای اعتماد کارکنان و افزایش میزان گزارش دهی ۳۵٪ در طی شش ماه نخست اجرای سیستم می شود



◆ فصل ۶ - چالش‌ها و محدودیت‌های اجرایی در بومی‌سازی Tripod Beta

۱-۶. چالش داده‌برداری در پروژه‌های پیمانکاری

براساس داده‌های حاصل از تجربیات کسب شده از فعالیت در پروژه‌های احداث نیروگاهی در ایران، بیش از ۷۰٪ عملیات اجرایی توسط پیمانکاران جزء انجام می‌شود؛ در نتیجه، جمع‌آوری داده‌های عینی از شاهدان حادثه با مشکل فرهنگ سرزنش و نگرانی شغلی روبه‌روست. مطالعه‌ای در سال ۱۴۰۲ توسط آکادمی شهرآسود نشان داد که در ۵ پروژه، فقط ۶۲٪ شاهدان حاضر به مصاحبه کامل بوده‌اند. این رقم در پروژه‌های دارای "Just Culture Policy" به ۸۵٪ رسیده است.

۲-۶. محدود بودن افراد با صلاحیت

در حال حاضر افراد بسیار معدودی آشنایی عملی و اجرایی برای جاری‌سازی مدل Tripod Beta در بحث بررسی و آنالیز حوادث وجود دارند؛ بنابراین عمده تحلیل‌های انجام گرفته در جلسات تجزیه و تحلیل حوادث توسط کارشناسانی با تجربه غیرسیستماتیک انجام می‌شود. این امر در بیشتر موارد به انحراف در شناسایی Underlying Cause منجر می‌گردد.

۳-۶. تفکیک اشتباه بین Immediate Cause و Underlying Cause

براساس مطالعاتی که در نتایج تحلیلی حوادث در پرونده‌های ارجاعی به کارشناسان رسمی و ذیصلاح صورت گرفته است، مشخص شده است که غالباً کارشناسان بررسی‌کننده حوادث در گزارش‌های ارائه شده به شرکتها یا مراجع قانونی، بصورت اشتباه عوامل رفتاری را به‌جای شرایط سازمانی ریشه‌ای (Underlying Cause) ثبت کرده بود.

نمونه:

«کارگر از هارنس استفاده نکرد» (فقط Immediate Cause)

در حالی که علت بنیادی (Underlying) «عدم بازرسی قبل از کار» و «نبود الزام مدیریتی، ضعف در آموزش، چک لیست PPE و ...» بود.

۴-۶. محدودیت‌های نرم‌افزاری

در اغلب شرکتها و سازمانها هنوز از نرم‌افزارها یا سیستم‌های تحلیلی برای بررسی حوادث استفاده نمی‌نمایند. در نتیجه نتایج، نمودارها و جداول بصورت گزارشات فردی و سلیقه‌ای ارائه می‌شوند.

۵-۶. راهکارهای پیشنهادی برای بومی‌سازی

اقدام پیشنهادی	ضعف شناسایی شده	حوزه
اجرای سیاست Just Culture Policy	عدم اعتماد شاهدان	داده‌برداری
برگزاری دوره Tripod Beta در سطح شرکتها	کمبود افراد آشنا با متد	نیروی انسانی
طراحی یا تهیه نرم‌افزار	در دسترس نبودن نرم‌افزار	ابزار نرم‌افزاری
تدوین راهنمای Tripod Beta در سازمانها	درک ناقص تفاوت علل	آموزش

فصل ۷ – هم‌افزایی Bow-Tie و Tripod Beta در سیستم‌های مدیریت ایمنی

۱-۷. مقدمه

گرچه Tripod Beta عمدتاً ابزار تحلیل علت و معلول پس از حادثه (Reactive Tool) است، اما در ترکیب با Bow-Tie Analysis که ابزار پیشگیرانه (Proactive Tool) محسوب می‌شود، می‌توان یک چرخه کامل Predict-Prevent-Learn ایجاد کرد. این هم‌افزایی، یکی از محورهای نوین در پلتفرم EI Tripod v6 و توصیه رسمی IOGP (Report 510, 2022) است.

۲-۷. تعامل مفهومی دو ابزار

شکل ۲ (نقشه هم‌پوشانی) نشان می‌دهد که خروجی Tripod Beta یعنی Underlying Causes دقیقاً می‌تواند ورودی طراحی Barrier Strength Review در Bow-Tie باشد.

ابزار پشتیبان	ورودی Bow-Tie متناظر	خروجی Tripod Beta	سطح تحلیل
HAZOP / LOPA	Threat Identification	ضعف در سیاست و رویه‌ها	Underlying Causes
HFACS / HRA	Escalation Factors	خطاهای انسانی و محیطی	Preconditions
ETBA / JSEA	Top Event	رخداد رفتار نایمن	Immediate Causes

۳-۷. چارچوب یکپارچه پیشنهادی:

بسیاری از تیم‌های تجزیه و تحلیل حوادث مدل BT-β Integrated Framework استفاده کرده‌اند که مراحل آن عبارت‌اند از:

- 1 Phase: شناسایی موانع بحرانی در طراحی Bow-Tie Implementation.
- 2 Phase: تحلیل ریشه‌ای حوادث واقعی Tripod Reactive Analysis.
- 3 Phase: امتیازدهی بر مبنای داده‌های واقعی شکست موانع (BPI) Barrier Performance Index.
- 4 Phase: افزودن داده‌های Tripod به لایه تهدیدات Bow-Tie برای اصلاح طراحی Feedback Cycle.

در پایلوت نیروگاه سیکل ترکیبی در ایران (۱۴۰۲-۱۴۰۳)، پیاده‌سازی این ترکیب موجب شد شاخص $BPI > 80$ ٪ در واحد HRSG ثبت گردد.

۴-۷. مزیت‌های مدیریتی هم‌افزایی

تبدیل شاخص‌های Lagging به Leading Indicators: داده‌های Tripod به شاخص «ضعف Barrier» در Bow-Tie تبدیل می‌گردند.

- افزایش دوره یادگیری سازمانی: حلقه آموزش ایمنی مبتنی بر موارد واقعی.
- کاهش تکرار تهدیدات مشابه: میانگین کاهش ۵۴٪ در سه سال در پروژه‌های انرژی.
- چابکی در System Auditing: ادغام هر دو مدل در داشبورد Power BI Safety Suite.

◆ فصل ۸ - دستورالعمل اجرایی برای سازمان‌ها (Implementation Guideline)

۸-۱. هدف

ارائه راهنمای قدم‌به‌قدم برای نهادهای انرژی و صنعتی به منظور استقرار رسمی Tripod Beta v6 در نظام مدیریت HSE MS منطبق با ISO 45001 و IOGP 510. نتیجه اجرای مراحل فوق باید به صورت مستمر در بند ۱۰ ISO 45001 (بهبود) ثبت و ممیزی شود.

۸-۲. مراحل اجرایی پیشنهادی

فاز	عنوان	خروجی مورد انتظار	مسئول اجرا
۱	معرفی روش و اخذ حمایت مدیر ارشد	کمیته حوادث	مدیر HSE
۲	انتخاب حادثه شاخص	گزارش حادثه	کمیته حوادث
۳	تشکیل تیم Tripod Beta	اعضای تیم تحلیل حادثه	کمیته حوادث
۴	جمع‌آوری شواهد و داده‌ها	فرم فرآیند Tripod v6	تیم تحلیل حادثه
۵	طراحی و اجرای Tripod Beta	گزارش علل ریشه‌ای و پنهانی	تیم تحلیل حادثه
۶	تجزیه و تحلیل علل حادثه	اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه	کمیته حوادث
۷	ثبت در سوابق مدیریت دانش	دوره‌های آموزشی، اصلاح آیین نامه‌ها	مدیریت دانش
۸	یادگیری و آموزش	کاهش حوادث	مدیر آموزش



◆ فصل ۹ - جمع‌بندی نهایی و مسیر آینده

۹-۱. جمع‌بندی علمی

تحلیل انجام‌شده نشان داد که Tripod Beta v6 نه تنها ابزار واکنشی برای بررسی حوادث است، بلکه می‌تواند نقش محوری در یادگیری سازمانی و تقویت Safety Culture ایفا کند. مدل پیشنهادی ترکیب Tripod و Bow-Tie، یک حلقهء پیشگیر-یادگیر ایجاد کرده است که از مرحلهء طراحی تا درس‌آموخته تداوم دارد.

۹-۲. نتیجه‌گیری نهایی

روش Tripod Beta در صورت اجرای منسجم، می‌تواند از سطح یک ابزار تحلیل فنی فراتر رود و به یک سیستم هوشمند یادگیری سازمانی تبدیل شود. این روش قابلیت بومی‌سازی کامل را داراست، مشروط بر آن‌که سه رکن زیر محقق گردد:

فرهنگ Just Culture

نظام Verification Meeting اصیل و مستقل

و پیوند داده‌های Tripod با مدیریت ریسک پیشگیرانه‌ی Bow-Tie

منابع:

- 1- Stichting Tripod Foundation (2025). Tripod History and Development. Retrieved from www.tripodfoundation.com
- 2- Cullen, W.D. (1990). The Public Inquiry into the Piper Alpha Disaster. HMSO.
- 3- IOGP (2021). Report 510 – Learning From Incidents.
- 4- Hollnagel, E. (2014). Safety I and Safety II: The Past and Future of Safety Management
- 5- Energy Institute (2023). Tripod Beta User Guide v6, London: EI Publishing
- 6- Reason, J. (1997). Managing the Risks of Organizational Accidents. Ashgate.1
- 7- <https://shahrasood.ir/Academy>

درباره شهرآسود

شرکت فن‌آوران ایمنی شهرآسود با هدف ارائه خدمات تخصصی در حوزه بازرسی فنی، ایمنی صنعتی و ارزیابی انطباق فعالیت می‌کند. ما با تکیه بر اصول Technical Assurance، رعایت استانداردهای بین‌المللی و رویکرد مستقل و شفاف، تلاش می‌کنیم از مرحله طراحی تا راه‌اندازی و بهره‌برداری، انطباق تجهیزات و فرآیندهای صنعتی را تأیید و تضمین کنیم. این شرکت با بهره‌گیری از نیروهای متخصص، روش‌های مبتنی بر شواهد و داده‌های قابل رهگیری، خود را متعهد به ارتقای ایمنی، کاهش ریسک و حمایت از صنعت در اتخاذ تصمیم‌های دقیق و پایدار می‌داند.



Compliance Evaluation | Technical Assurance | Sustainable Safety

Technical & Safety Inspection

Enhancing sustainable safety in industry through environmental protection and technical knowledge development.

