דוח תחקיר הנדסי ומבצעי מורחב
אירוע כשל תהליכי ופיצוץ במתקן הגז "ברזאן" (קטר)

תאריך האירוע: 21 ביוני 2026 | **תאריך הפקת הדוח:** 23 ביוני 2026 | **סטטוס:** חקירה פעילה

1. תקציר מנהלים

ב-21 ביוני 2026, במהלך שלב התנעה מחדש (Start-up) של מערכות הטיפול בגז במתקן "ברזאן" (Barzan Gas Project) הממוקם בקריית התעשייה ראס לפאן בקטר, אירע פיצוץ נפחי אדיר מסוג פיצוץ ענן אדים (VCE). האירוע הוביל לשריפת לחץ מסיבית, הרס תשתיתי נרחב באזור מדחסי הגז, ולנפגעים רבים בקרב סגל ההפעלה והקבלנים שנכחו במקום. הדוח להלן מנתח את המאפיינים הטכנולוגיים של המתקן, מנגנוני הכשל ההנדסיים האפשריים, מאפייני הסיכון של החומרים המעורבים, ואת תורת הלחימה המבצעית שיושמה לשם הכלה ובידוד הזירה.

12	6	54	VCE
הרוגים מאושרים	נעדרים בסריקה	פצועים בדרגות שונות	מנגנון פיצוץ עיקרי

2. אפיון טכנולוגי של המתקן והחומרים המסוכנים

פרויקט הגז ברזאן מיועד לטפל בגז גולמי המופק מהשדה הצפוני (North Field) של קטר, במטרה לספק גז איכותי לרשת החשמל והתפלת המים המקומית. בשונה ממתקני ייצוא ה-LNG הסמוכים, מתקן זה מבצע הפרדה וזיקוק בלחצים גבוהים של מספר קונוונציות פחמימניות ורכיבים נלווים:

- **מתאן (CH_4):** המרכיב העיקרי בגז הטבעי (מעל 80%). גז דליק ביותר בעל גבול נפיצות תחתון (LEL) של 5% וגבול נפיצות עליון (UEL) של 15%.
- **נוזלי גז טבעי (NGL):** פרופאן, בוטאן וקונדנסטים המהווים סיכון מוגבר עקב נטייתם להצטבר באזורים נמוכים וליצור ענני אדים עשירים בקרבת הקרקע.
- **מימן גופרי (H_2S) - "גז חמוץ":** הגז הגולמי הנכנס למתקן מכיל ריכוזים משמעותיים של H_2S. מדובר בגז רעיל ביותר, קורוזיבי, בעל ריח של ביצים רקובות בריכוזים נמוכים, אשר משתק את עצב ההרחה בריכוזים גבוהים מ-100 ppm וגורם למוות מיידי בריכוזים העולים על 500 ppm.

סיכון משולב (רעילות + דליקות)

נוכחותו של הגז החמוץ H_2S בשלבים המוקדמים של תהליך ההפרדה (לפני יחידות ספיחת האמינים) מחייבת היערכות מיוחדת. כל דליפה בשלב זה אינה רק אירוע דליקות ונפיצות, אלא מייצרת באופן מיידי שטח מורעל המגביל את גישת כוחות החירום ללא מיגון נשימתי ואטימה מלאה.

3. כרונולוגיית האירוע ומנגנון הכשל ההנדסי (Root Cause Analysis)

א. הרקע לאירוע (מרץ – יוני 2026)

בחודש מרץ 2026 הושבת המתקן בעקבות תקיפת כטב"מים אזורית שגרמה לנזקים מבניים למערכות הצינורות והמדחסים. במהלך החודשים שלאחר מכן בוצעו עבודות שיקום, החלפת מקטעי צנרת וריתוך מחדש.

ב. כשל בשלב ההתנעה (Start-up) והלם הידראולי/פנאומטי

במהלך ה-21 ביוני, החל סגל ההנדסה בהזרמת גז בלחץ גבוה לצורך ניסוי המערכות והחזרתן לעבודה שוטפת. שלב זה מוכר הנדסית כאחד השלבים הרגישים והמסוכנים ביותר בתעשייה התהליכית. המנגנון המשוער של הכשל מורכב משלושה שלבים קריטיים:

השלב בתהליך	תיאור המנגנון הפיזיקלי / הנדסי	כשל מערכתי נלווה
1. פריצת המעטפת (Loss of Containment)	הזרמת פחמימנים מהירה יצרה אפקט "הלם גז" (Gas Hammer) בצנרת. סדק זעיר (Micro-fissure) שלא אותור בבדיקות אל-הרס (NDT) לאחר השיקום, קשל תחת עומס הלחץ המשתנה וגרם לקריעה מבנית של אוגן (Flange) או קו צנרת ראשי.	כשל או אי-דיוק במערך בדיקות הריתוך ואולטרסאונד (NDT).
2. היווצרות ענן האדים (Vapor Cloud)	גז מתאן ו-NGL בלחץ גבוה נפלטו לאטמוספירה בספיקה אדירה, עברו התפשטות פתאומית והתערבבו במהירות עם החמצן באוויר, תוך הגעה לטווח הנפיצות הרלוונטי ($LEL - UEL$).	אי-סגירה מהירה מספקת של מגופי השבתת החירום (ESD) גרמה להמשך הזנת המלאי.
3. הצתה ופיצוץ נפחי (VCE)	ענן הגז נדד עקב משטר הרוחות המקומי לעבר אזור המדחסים, שם נחשף למקור הצתה (משטח חם או ניצוץ חשמלי מציוד שאינו מוגן פיצוץ - Explosion Proof). התוצאה הייתה דפגרציה מהירה שיצרה גל הדף הרסני.	כישלון מערכות הדילול או היעדר בידוד מקורות הצתה באזור החם.

4. ניתוח המענה המבצעי וניהול אירוע החומ"ס

עם קבלת ההודעה על הפיצוץ, הופעלה תוכנית החירום המפעלית בשילוב עם כוחות ההגנה האזרחית של קטר. ניהול האירוע התבצע על פי עקרונות מתקדמים של פיקוד ושליטה באירועי חומרים מסוכנים:

א. טקטיקת הכלה וקירור חשיפות (Exposure Cooling)

כוחות הכיבוי המקומיים יישמו את הכלל המבצעי הבסיס **אין לכבות שריפת גז בלחץ כל עוד זרימת הגז נמשכת**. כיבוי הלהבה ללא עצירת המקור היה מוביל להצטברות מחודשת של ענן גז ולפיצוץ משני קטלני בהרבה. במקום זאת, המאמץ התמקד ב:

- הפעלת תותחי מים קבועים ומערכות מתזים אוטומטיות (Deluge Systems) לצורך קירור מכלי הציוד המשותפים, קונסטרוקציות הפלדה ומיכלי ה-NGL הסמוכים, על מנת למנוע כשל מבני עקב עייוות תרמי או אירוע ***BLEVE***.
- בידוד מקורות האנרגיה באמצעות שליטה מרחוק ממפקדת השליטה המוגנת (CR) וסגירת מגופי ה-ESD הראשיים, מה שאפשר למלאי הגז הכלוא במקטע הפגוע לבעור באופן מבוקר (Burn-off) עד לדעיכה מלאה.

ב. קביעת אזורי סיכון ובחירת מיגון (PPE)

בשלבים הראשוניים, עקב החשש מנוכחות H_2S חופשי באוויר, הוגדר אזור הלחימה המיידי כאזור חם המחייב מיגון נשימתי ועורי מרבי. עם דעיכת הלהבות ומעבר הזירה לשלב סריקה וחילוץ הריסות (החל מ-22 ביוני), בוצעה הערכת סיכונים מחודשת:

- **מעבר לחליפות Level B:** צוותי הסריקה והחילוץ הונחו לפעול בחליפות מגן מפני נוזלים/נתזים בשילוב מערכות נשימה פתוחות (מנ"פ). רמת מיגון זו נבחרה מכיוון שהסיכון הדומיננטי בשלב זה אינו ענן גז פחמימני דליק מתפשט, אלא פליטות מקומיות וכיסים כלואים של גז רעיל (H_2S) בתוך חללים מוקפים שנוצרו מקריסת המבנים.

ג. ניטור סביבתי ומודל פיזור (Plume Modeling)

מערך גלאי הגז הפרימטריים (רשת החיישנים ההיקפית של ראס לפאן הכוללת גלאים אלקטרוכימיים וגלאי אינפרא-אדום בקו-ראייה) נוטר ברציפות. הנתונים המטאורולוגיים – מהירות הרוח וכיוונה – הועלו למערכות ממוחשבות לחיזוי פיזור ענני רעל. הממצאים הראו כי קונטור הריכוז המסוכן לא חרג מגבולות אזור התעשייה, דבר שאפשר למנוע פינוי אוכלוסייה אזרחית בעיר דוחא וביישובים הסמוכים.

5. מסקנות ולקחים ראשוניים לתעשייה ולמערכי החירום

1. **חיוניות של תאומים דיגיטליים (Digital Twins):** אירוע זה מוכיח את הצורך בהטמעת מערכות סימולציה מבוססות בינה מלאכותית, אשר מסוגלות להצליב נתוני SCADA בזמן אמת עם פרוטוקולי Start-up כדי להתריע על חריגות לחץ זעירות לפני התרחשות כשל מכני ברקמות הצינור.
2. **החמרה מוגברת של בדיקות NDT לאחר אירועי הדף:** מתקן שספג פגיעה מבנית בעבר (כגון הדף כטב"ם) אינו יכול להסתפק בבדיקות מדגמיות. יש לבצע בדיקות אל-הרס היקפיות ומלאות (100% UT/RT) לכל אורך קווי הלחץ הגבוה לפני אישור הזרמה מחודש.
3. **אוטומציה של מגופי ESD:** יש לוודא כי זמני התגובה של מגופי החירום מוגדרים לסגירה אוטומטית מלאה במקרה של נפילת לחץ פתאומית (Rate-of-Drop) ללא צורך באישור מפעיל אנושי, כדי לצמצם את המלאי המשתחרר לאטמוספירה בדקות הראשונות של הכשל.